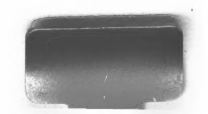
Digitized by Google

Phys. g. 118 m/1

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.



Digitized by Google

<36602378490015

<36602378490015

Bayer. Staatsbibliothek

Digitized by Google

Digitized by Google

# Repertorium

der

# Experimentalphysik,

enthaltend

eine vollständige Zusammenstellung der neuern Fortschritte dieser Wissenschaft.

---

Als

## Supplement

zu

neuern Lehr= und Wörterbüchern der Physik

von

Gustav Theodor Fechner,

Doctor der Philosophie und außerordentlichem Professor zu Leipzig.

---

Erster Band.

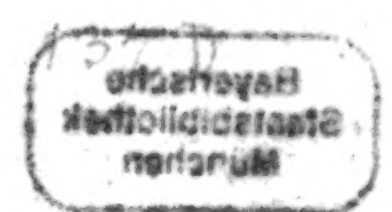
---

Mit drei Kupfertafeln.

---

Leipzig, 1832.

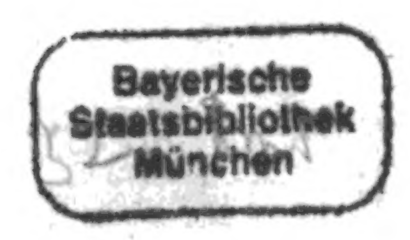
Verlag von Leopold Voß.




Digitized by Google

Phys. g. 118 m/1

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.




Digitized by Google

# Vorwort.

Bei der großen Mannichfaltigkeit und Zerstreuung von neuen Thatsachen, welche durch die raschen Fortschritte der Physik jährlich ans Licht treten, dürfte ein Unternehmen, welches eine vollständige und geordnete Zusammenstellung derselben in bestimmten Zeiträumen zu liefern verspricht, unstreitig dem Bedürfnisse Vieler genügen, indem es die Mühe des eigenen Zusammenstellens erspart; in jedem Falle Nachricht giebt, ob etwas und was in einem Gebiete der Physik geleistet worden sei oder nicht; das Nachschlagen in den, zum Theil schwer zu erlangenden, Originalquellen entbehrlich macht, oder, wo der Umfang der Untersuchungen eine erschöpfende Mittheilung nicht erlaubt, die Quellen zu näherer Belehrung wenigstens anzeigt; indem es endlich die Thatsachen in einer, für die Einsicht der Resultate möglichst zweckmäßigen, Form darlegt.

Diese Gesichtspuncte sind es in der That, die mich bei Abfassung des vorliegenden Werkes geleitet haben, das solchergestalt dieselbe Tendenz haben wird, als das ähnliche Unternehmen,

Digitized by Google

was ich in Bezug zur Chemie schon eingeleitet habe, und welchem die bisherige Theilnahme des Publicums seinen Fortgang verspricht.

Bei einem Werke dieser Art schien mir, um seinem Zwecke zu genügen, vorzüglich die Erfüllung nachstehender drei Haupterfordernisse nöthig: Vollständigkeit, hinreichende Ausführlichkeit und Deutlichkeit der Darstellung.

Die erste anlangend, so hoffe ich, daß mir bei dem Fleiße, den ich auf das Sammeln der physikalischen Thatsachen verwandt habe, und der sorgfältigen Durchsicht aller der Quellen, in denen sich einige Ausbeute erwarten ließ, keine Thatsache von einiger Wichtigkeit entgangen sein wird. Man wird jedoch in dieser Schrift nicht bloß die Zusammenstellung der allgemeiner wichtigen, sondern auch derjenigen Data zu suchen haben, welche, ohne für die Gestaltung ganzer Zweige der Physik von Bedeutung zu sein, doch irgend ein physikalisches Interesse gewähren, indem sie, wenn auch nicht neue Gesetze oder Bestimmungen, doch neue Formen oder Anwendungen physikalischer Gesetze und Erscheinungen kennen lehren. Daß ich in dieser letztern Hinsicht nicht hier und da etwas übersehen haben sollte, wage ich allerdings nicht zu hoffen, da sich oft etwas dergleichen in Schriften findet, wo man es nicht leicht zu suchen veranlaßt wird, und es wird mir lieb sein, auf solche Gegenstände aufmerksam gemacht zu werden, um sie in künftigen Lieferungen nachtragen zu können. Manche ausländische Untersuchungen, die bis jetzt noch nicht in deutsche Zeitschriften übertragen worden sind, glaube ich hier zum ersten Male dem deutschen Publicum mitzutheilen; so die von Navier über den Ausfluß elastischer Flüssigkeiten; die Untersuchungen Poisson's und Cauchy's über die Schwingungen elastischer Körper, wovon bis

Digitized by Google

jetzt bloß einige sehr unvollständige Notizen im Deutschen erschienen waren, u. m. A.

Vielleicht wird man es tadeln, daß ich auch solche Erfahrungen aufzunehmen nicht vermieden habe, welche keineswegs den Stempel der Zuverlässigkeit an sich tragen, den man von physikalischen Beobachtungen zu erwarten berechtigt ist; indeß scheint es mir, daß gerade in einem Werke, welches den Charakter eines Repertoriums in Anspruch nimmt, die Erwähnung von dergleichen Beobachtungen nicht fehlen darf, da jede Thatsache, sobald sie einmal als beobachtet aufgezeichnet und nicht in sich widersinnig ist, wenigstens so lange ein gewisses Bürgerrecht behauptet und Anspruch darauf hat, beachtet zu werden, als sie nicht durch zuverlässigere Beobachtungen widerlegt ist. Die Anfoderung an eine Prüfung derselben wird gewiß nur um so größer, je zweifelhafter sie erscheint; es möchte aber eine solche Prüfung vielmehr durch ausdrückliches Hinweisen auf dergleichen Beobachtungen, als durch gänzliches Verschweigen derselben veranlaßt werden.

In Betreff der Ausführlichkeit schien es mir nicht hinreichend, bloß die Resultate der Beobachtungen schlechthin anzuführen, sondern im Interesse der Leser wesentlich, auch die Art, wie, und die Bedingungen, unter welchen diese Resultate gefunden wurden, sowie die Hauptbelege derselben, wiewohl mit Weglassung alles beiläufigen oder unwesentlichen Nebendetails, mitzutheilen, da nur so eine Einsicht möglich wird, welchen Grad von Zutrauen die Resultate verdienen und innerhalb welcher Gränzen sie für gültig gehalten werden können. Allerdings war hierbei eine gewisse Beschränkung nöthig. Bei sehr vielen und gerade den genauesten Untersuchungen nimmt die Aufzählung der kleinlichen Vorsichtsmaßregeln, welche zur Sicherung gegen die Irr-

Digitized by Google

thümer der Beobachtungen nöthig sind, einen so großen Umfang ein, und bei mehreren Untersuchungen liegen auch die Bewährungen in einer solchen Weitschichtigkeit von Beobachtungen eingeschlossen, daß eine detaillirte Mittheilung derselben nicht nur dieses Werk überladen, sondern auch die Einsicht in das Allgemeine der Phänomene, welche ich stets im Auge zu behalten gesucht habe, sehr erschwert haben würde. In diesen Fällen, so wie da, wo mir die relative Geringfügigkeit des Resultates einen großen Aufwand in Darstellung der Mittel, die zur Auffindung desselben führten, nicht zu verdienen schien, habe ich mich mit der allgemeinen Angabe des Ganges der Verfahrungsarten und einzelnen beispielsweisen Belegen begnügt, oder auch direct auf die Originalabhandlungen verwiesen, bloß unter allgemeiner Angabe dessen, was dort in der betreffenden Hinsicht gefunden oder auch vermißt wird. So war es auch, wiewohl ich im Allgemeinen Vollständigkeit und Genauigkeit in Mittheilung neuer Erfindungen oder Abänderungen physikalischer Apparate bezweckt habe, doch wegen zu großen Umfangs einiger Beschreibungen oder Abbildungen erforderlich, hie und da in Bezug auf dieselben den Leser großentheils oder ganz auf die Originalabhandlungen zu verweisen. Da übrigens die Interessen der Leser hinsichtlich der Beziehungen, unter welchen sie die Gegenstände mitgetheilt wünschen, sehr verschieden sein möchten, so darf ich freilich nicht hoffen, bei dem Mittelwege, den ich in den angegebenen Hinsichten zu treffen gesucht, es allen Recht gemacht zu haben.

Von vorzüglicher Wichtigkeit schien es mir, um dem vorliegenden Unternehmen Nutzbarkeit zu verschaffen, das dritte Hauptersoderniß, Deutlichkeit und Übersichtlichkeit der Darstellung in stetem Augenmerk zu behalten. Die Rücksicht hierauf war

es hauptsächlich, welche die Form der Darstellung bei den Gegenständen in vorliegendem Werke bestimmt hat. Vielleicht ist es mir gelungen, oder wenigstens ist mein Bestreben dahin gegangen, mehrere dieser Gegenstände auf eine leichter überschauliche Weise vorzutragen, als es in den Originalabhandlungen geschehen ist, deren manche in der That, und öfters wohl mehr durch Schuld der Verfasser als der Natur der Gegenstände, kein gar zu einladendes Studium darbieten. Zu diesem Zwecke habe ich die Resultate aus den Untersuchungen, durch die sie gefunden wurden, herausgesondert und in der Regel vorangestellt, dann die speciellen Data der Versuche als Belege darauf bezogen, und alle diejenigen Resultate, die, wenn gleich in denselben Versuchsreihen gefunden, doch verschiedenen Klassen von Erscheinungen angehören, an ihre respectiven Orte gebracht. Wo es ferner ohne Umständlichkeit möglich war, habe ich die durch Formeln ausgedrückten Resultate in Worten wiedergegeben, und dann die Formeln meist nur zusatzweise beigefügt; überhaupt aber das, was für den der mathematischen Zeichensprache nicht Kundigen verständlich und, so weit es für ihn verständlich ist, von dem zu sondern gesucht, was nicht wohl ohne solche Zeichen ausdrückbar ist. Übrigens ließ sich, wie leicht zu erachten, nicht eine und dieselbe Form der Darstellung bei allen Gegenständen beibehalten, da vielmehr die Natur der Untersuchungen selbst, und die Art, wie sie geführt wurden, hier entsprechende Modificationen erfoderte. Wo ich nicht glaubte, eine für den vorliegenden Zweck angemessenere Darstellung geben zu können, als in den Originalabhandlungen, habe ich diese beibehalten, was diesem Unternehmen, was der Natur der Sache nach auf keine Originalität Anspruch machen kann, nicht zum Vorwurf gereichen möge. Hie und da habe ich eine so ungenaue Be-

schreibung der Versuche oder ihrer Resultate gefunden, daß ich bei der Ungewißheit über den zu Grunde liegenden richtigen Sinn sie nicht zu verbessern gewußt habe. Diese fremde Schuld, wo sie Statt findet, wird man begreiflich nicht auf meine eigene Rechnung setzen.

Wiewohl dieses Werk den Titel Repertorium der Experimentalphysik führt, so habe ich darum die Resultate mathematischer Untersuchungen nicht ausgeschlossen, jedoch sie nur in so weit aufgenommen, als sie zur Erläuterung, gesetzmäßigen Verknüpfung oder einfacheren Darstellung von Beobachtungen dienen, oder zur Prüfung durch Beobachtungen auffodern können, und sich in leicht übersichtlichen Formeln darstellen oder durch Worte ausdrücken lassen; dagegen habe ich sowohl die allgemeinern Gleichungen (Differenzialgleichungen), welche, ohne direct auf die Erfahrung anwendbar zu sein, nur zur Herleitung der darauf bezüglichen Formeln dienen, als auch die mathematischen Deductionen selbst im Allgemeinen bei Seite gelassen, nicht als ob ich sie für unwichtig oder unwesentlich hielte, sondern weil theils eine gründliche Berücksichtigung dieser Umstände eine Ausdehnung dieses Werkes erfodert hätte, die ich mir demselben nicht zu geben getrauete, theils mir eine Trennung der mathematischen Betrachtungen über die Naturerscheinungen von den experimentalen Datis überhaupt für das Interesse Vieler zweckmäßig erschien. Allerdings würde für einen großen Theil des Publicums eine Zusammenstellung der so wichtigen physikalisch-mathematischen Untersuchungen, welche in neueren Zeiten namentlich von mehreren französischen Mathematikern und Physikern (Ampère, Cauchy, Fresnel, Poisson u. s. w.) erschienen sind, gewiß von nicht geringem Interesse sein, um so mehr, da diese Arbeiten, die auch

für die Erfahrung schon so wichtige Früchte getragen haben und noch mehrere versprechen, meist in Gesellschaftsschriften enthalten sind, deren Benutzung nur wenigen zu Gebote steht; indeß würde dies ein Unternehmen besonderer Art sein, welches ich, insofern meine Verhältnisse mir keine Gelegenheit zu selbstständigern Untersuchungen darbieten sollten, in der Folge zu bearbeiten gedenke.

Eigene Untersuchungen anlangend, so wird man hier die Zusammenstellung der Resultate von Versuchen finden, die ich neuerdings in einer besondern Schrift: Maßbestimmungen über die galvanische Kette zusammengefaßt habe. Außerdem wird die Herleitung von Klangfiguren quadratischer Membranen, die ich nach Poissons, von ihm selbst in dieser Hinsicht nicht verfolgten, Formeln (S. 298) gegeben habe, vielleicht für Manchen nicht ohne Interesse sein.

Die Darstellung der tellurischen und meteorologischen Erscheinungen in ihren physikalischen Beziehungen ist von mir so weit gegeben worden, als daraus mehr oder minder allgemeine Bestimmungen hervorgehen. Daß nicht alle barometrischen, thermometrischen, magnetischen rc. Beobachtungen, oder auch Mittel aus diesen Beobachtungen; daß nicht alle wahrgenommenen Nordlichter, Nebensonnen rc. besonders hier wiedergegeben oder beschrieben worden sind, bedarf wohl keiner Rechtfertigung; dagegen wird man die Literatur aller dieser speciellen Beobachtungen, so vollständig ich sie zu erlangen vermocht, nicht vermissen. Die Gesammtheit dieser Umstände werde ich übrigens erst gegen den Schluß des Werkes vereinigen, daher man z. B. das, was über die täglichen und jährlichen Oscillationen des Barometers, Thermometers, der Magnetnadel, über die Windverhältnisse rc. an allgemeinen Bestimmungen sich neuerdings ergeben hat, nicht in den

Abschnitten, welche vom Drucke elastischer Flüssigkeiten, von der Wärme, dem Magnetismus u. s. w. handeln, aufzusuchen haben, sondern gegen den Schluß des Werkes vereinigt finden wird.

Um von einem bestimmten Datum auszugehen, habe ich in die jetzige Lieferung alle diejenigen Thatsachen aufgenommen, welche seit Anfange des Jahres 1829 erschienen sind, mit Berücksichtigung einiger früher erschienenen (wegen des Zusammenhanges). Die Besitzer neuerer Lehrbücher der Physik, wie derer von Baumgartner, Biot, Brandes, Despretz, Kastner, Muncke, Pouillet, so wie des Fischer'schen und Gehler'schen Lexicons, welche sämmtlich um oder nach 1829 erschienen sind, können daher in dem vorliegenden Repertorium eine Ergänzung desjenigen finden, was nach dem Erscheinen derselben von physikalischen Thatsachen hinzugekommen ist, so wie sie sich umgekehrt über die, in diesem Repertorium vorkommenden, Gegenstände, welche Vorkenntnisse erfodern, aus jenen Lehrbüchern werden belehren können*). In diesem Bezuge wird wegen seiner Vollständigkeit vor allen das, gegenwärtig bis zum Buchstaben L (incl.) gediehene, Gehler'sche Wörterbuch und, in Bezug auf eine bündige Darstellung des mathematischen Theiles der Physik, das, eigentlich ein selbstständiges Werk bildende, Supplement zu Baumgartner's Lehrbuch der Physik zu empfehlen sein. Ich habe übrigens meinerseits die Anordnung der Materien im Wesentlichen

*) Da mehrere dieser Werke schon Zusammenstellungen nebst Literatur über die früheren Untersuchungen der vorkommenden Gegenstände enthalten, so habe ich es im Allgemeinen für überflüssig erachtet, in diesem Repertorium bei jedem Gegenstande wieder darauf zurückzukommen, vielmehr das Hinzugekommene bloß schlechthin mitgetheilt, was für die Kürze ersprießlich schien. Zuweilen indeß schien es zweckmäßig, hievon eine Ausnahme zu machen.

(wiewohl mit einigen Abänderungen) nach der des Biot'schen Lehrbuches Statt finden lassen und in vorkommenden Fällen vorzugsweise darauf verwiesen.

Es ist meine Absicht, dieser ersten Lieferung des Repertoriums alle zwei Jahre eine neue, jedesmal in zwei Bänden, folgen zu lassen, im Falle die Theilnahme des Publicums demselben den Fortgang sichert. Vielleicht würden Manche ein jährliches Erscheinen vorziehen; indeß schien es mir, daß das Zusammenfassen einer größern Menge verwandter Thatsachen, von denen manche binnen eines längeren Zeitraumes durch wiederholende Versuche mehr befestigt oder auch modificirt und berichtigt werden können, den Vortheil compensirte, den ein schnelleres, aber größere Zerstückelung mit sich führendes, Erscheinen derselben gewähren würde.

Zum Schlusse dieser Lieferung des Repertoriums wird man anhangsweise noch mitgetheilt finden:

1) Eine Literatur der einzelnen tellurischen und meteorologischen Erscheinungen und Beobachtungen, die seit Anfange 1829 bekannt worden sind:

2) Ein Verzeichniß der physikalischen Schriften, die seit 1829 erschienen sind.

3) Ein Verzeichniß der seit 1829 erschienenen physikalisch-mathematischen Abhandlungen, welche in den verschiedenen Zeitschriften oder anderwärts sich finden.

4) Eine kurze Angabe des Inhaltes derjenigen Untersuchungen, die während des Druckes dieses Werkes und zwar zu spät erschienen sind, um noch an der rechten Stelle einge-

schaltet zu werden, und deren ausführlichere Mittheilung deshalb der nächsten Lieferung des Repertoriums vorbehalten bleibt.

Der erste Band dieser jetzigen Lieferung ist bis zur Betrachtung der galvanischen Erscheinungen (incl.) fortgeführt worden; der zweite wird mit Betrachtung der sich unmittelbar daran anschließenden elektrochemischen, in so weit sie von physikalischem Interesse sind, beginnen.

## Inhaltsverzeichniß zum ersten Bande.

### Erster Abschnitt.


I. Apparate zum Messen räumlicher Dimensionen, Winkel, Gewichte.

Seite

Linearmaße (Werner, Knar, Kater) . . . . . . 1

Apparate, die Ebenheit und Horizontalität zu prüfen (Kater, Nixon) . . . . . . . . . . 4

Winkelmessung (Moser, Majocchi, Weisbach) . . . . 6

Wage (Ritchie) . . . . . . . . . . . 7

II. Verhältnisse der kleinsten Theilchen der Körper; Structur der Körper.

Gegenseitige Entfernung der kleinsten Körpertheilchen . . . . 9

Krystallinische Structur scheinbar nicht krystallisirter Körper (Savart) 10

Merkwürdige Lagenveränderungen der kleinsten Theilchen (Brown, Muncke, Hayes, Herschel, Marr, Hünefeld, Zincken, Fuchs, Faraday, Berzelius, Mitscherlich, Lampadius) . . . . . . . . . . 12

Grundzustand der Körper (Poisson, Cauchy) . . . . . 19

Ungleiche Eigenschaften von Körpern bei gleicher chemischer Zusammensetzung (isomerische Körper) . . . . . . . 23

III. Eigenschaften der Körper, welche von ihrem Aggregatzustande abhängig sind.

Festigkeit (Karsten) . . . . . . . . . . 26

Ductilität, Tenacität (Coriolis, Weber, Wollaston, Navier) 27

Elasticität des Holzes, der Krystalle, des Eisens (Savart, Mitis) . . . . . . . . . . 30

Härte der Krystalle (Frankenheim) . . . . . 32

## IV. Mathematische Betrachtung der Gleichgewichts- und Bewegungserscheinungen im Allgemeinen

Seite
(von Navier, Poisson, Cauchy u. a.) . . . . . 35

## V. Druck, Zug, Contraction und Dilatation, Spannung, Torsion fester Körper.

Allgemeine Beziehungen zwischen den Druck- oder Zugkräften in festen Körpern (Cauchy) . . . . . . . . . . 46
Dimensions- oder Volumenänderungen elastischer homogener Saiten, Membranen, Körper bei darauf wirkendem Druck oder Zug (Poisson) . . . . . . . . . . 52
Allgemeine Sätze über die Ausdehnung und Zusammenziehung fester Körper (Cauchy) . . . . . . . . . 57
Messung starker Druckkräfte (Bevan, Coriolis) . . . . 62
Druck von Drähten, welche in gespanntem Zustande schraubenförmig um Glasröhren gewickelt werden (Weber) . . . . 62
Spannung und Dehnung von Saiten (Weber) . . . . . 66
Verfahren, Drähte durch eine bestimmte Kraft plötzlich zu verlängern und zu verkürzen, oder zu spannen und abzuspannen (Weber) . . . . . . . . . . 67
Spannungsänderungen verlängerter oder verkürzter Drähte (Weber) 69
Torsion starrer Streifen und Stäbe (Savart, Cauchy, Poisson) . . . . . . . . . . 73
Drehwage (Ritchie, Muncke) . . . . . . . . . 77

## VI. Reibung und Abhäsion fester Körper.

Reibung (Rennie, Huber Burnand) . . . . . . 78
Abhäsion (Prechtl, Camelli) . . . . . . . . 79

## VII. Bewegung fester Körper.

Fortpflanzung der Bewegung in elastischen und in harten festen Körpern (Poisson, Cauchy) . . . . . . . . 81
Ausfluß des Sandes (Huber Burnand) . . . . . . 82
Bewegungserscheinung an einer tönenden Glasröhre (Weber, Stern) 84
Bewegung fester Körper in Widerstand leistenden Mitteln, ballistisches Problem (Schmidt) . . . . . . . . 85

## VIII. Druck, Zusammendrückung, Capillaritätserscheinungen tropfbarer Flüssigkeiten.

Princip der Gleichheit des Druckes nach allen Richtungen (Poisson) 90
Druck des Meeres (Green) . . . . . . . . . 92
Zusammendrückung tropfbarer Flüssigkeiten (Poisson) . . . 94
Capillaritätserscheinungen (Gauß, Poisson) . . . . . 96

## IX. Bewegungserscheinungen tropfbarer Flüssigkeiten.

Seite
Ausfluß des Wassers aus Röhren und Behältern (d'Aubuisson, Poncelet und Lesbros) . . . . . . . . . 98
Stehende Wellen um ein in Wasser tauchendes Stäbchen (Poncelet) 102
Geschwindigkeit des Wassers in Flüssen (Poncelet, Raucourt) 105

## X. Gleichgewichtserscheinungen elastischer Flüssigkeiten, Barometer, Luftpumpe.

Gleichgewichtserscheinungen einer elastischen Flüssigkeit, deren Theilchen sich wechselseitig anziehen (Dallari) . . . . . 108
Dalton'sche Theorie (Benzenberg) . . . . . . . . 108
Mariotte'sches Gesetz (französische Commission) . . . . . 110
Anschwellen thierischer Blase durch Gasabsorption (Graham, Baumgartner, Faust) . . . . . . . . . 111
Barometer (Wollaston) . . . . . . . . . . . 115
Luftpumpe (Kemp, Mile) . . . . . . . . . 116
Verhinderte Expansion des Pulvergases . . . . . . . 120

## XI. Bewegungserscheinungen elastischer Flüssigkeiten.

Verbreitung elastischer Flüssigkeiten durch einander (Graham) . 121
Anemometer (Lind) . . . . . . . . . . . . 125
Instrument zur Bestimmung der Luftmenge, welche einer Feuerstelle während des Verbrennens zuströmt (Frey) . . . . 125
Anziehungserscheinungen, durch ausströmende elastische Flüssigkeiten veranlaßt (Faraday, Quetelet, Ewart, Clement, Bolz) . . . . . . . . . . . . 127
Bewegung eines gegen eine Fläche geblasenen Luftstroms (Quetelet) 130
Ausfluß elastischer Flüssigkeiten aus Reservoirs und Röhren (Navier) . . . . . . . . . . . . 131

## XII. Dämpfe.

Spannkraft des Wasserdampfes (Dulong und Arago, Tregaskis, Schitko, Riemann) . . . . . . . . 173
Dichtigkeit des Wasserdampfes (Schitko) . . . . . . 181
Erzeugung von Dampf durch glühendes Eisen (Johnson) . . 183
Siedepunct einiger Flüssigkeiten (Marx) . . . . . . 183
Dampfmaschinen . . . . . . . . . . . . 183
Ursache der Explosion von Dampfkesseln und Mittel zu ihrer Verhütung (Arago) . . . . . . . . . . . 184
Verdunstungsversuche (Faraday, Saladin) . . . . . 194
Leslie'sches Verdunstungsverfahren, auf Ätherdämpfe angewandt (Dove) . . . . . . . . . . . . 196
Verdunstung des Eisens (Schübler) . . . . . . . . 196
Hygrometer und Psychrometer (Schübler, August, Melloni, Delacombe) . . . . . . . . . . . 199
Bestimmung des Wassergehaltes der Atmosphäre durch Schwefelsäure (Brunner) . . . . . . . . . . . 216

## XIII. Specifisches Gewicht.

Seite
Bestimmungsmethoden des specifischen Gewichts, Aräometer (Levy, Baumgartner, Meikle, Marozeau, Osann) . 219
Specifisches Gewicht verschiedener fester und tropfbarer Körper (Beudant, Breithaupt, Boullay, Osann, Weber) 228
Absolutes Gewicht mehrerer Gase (Buff) . . . . . . 233
Tabellen über das absolute und specifische Gewicht der Gase und Dämpfe, aus ihren stöchiometrischen Werthen hergeleitet . . 234

---

# Zweiter Abschnit.

---

## Lehre vom Schall.

### I. Fortpflanzung des Schalls.

Verhältniß der Schallgeschwindigkeit in elastischen Stäben, Platten und Körpern von drei Dimensionen (Poisson. Cauchy) . 241
Verfahren, die Schallgeschwindigkeit in der Luft aus der Länge oder dem Tone von Labialpfeifen zu berechnen (Dulong) . 245
Verfahren, die Schallgeschwindigkeit in der Luft aus der Länge und dem Tone von Zungenpfeifen zu berechnen (Weber) . 248
Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Gasarten (Dulong) . 250

### II. Erregung, Messung und Anwendung vergleichbarer Töne.

Neues Mittel der Tonerzeugung durch Drehung gezähnter Räder (Savart) . . . . . . . . . . . 251
Verfahren, auf einer Violinsaite von gleichbleibender Spannung durch Streichen Töne von mannichfaltiger Höhe hervorzubringen (Pellisov) . . . . . . . . . 253
Erregung von Tönen durch Temperaturveränderungen (Trevelyan) 254
Chemische Harmonica (V. Mons) . . . . . . . 255
Stark klingende Legirungen (Kastner) . . . . . . 255
Ansicht Pellisov's von Erregung der Töne . . . . . 256
Combinationstöne (Blein) . . . . . . . . . 257
Monochord oder Tonmesser von zweckmäßiger Einrichtung (Weber) 259

### III. Resonanz.

Resonirende Luftsäulen und Lufträume (Wheatstone) . . . 261
Hörbarmachung weit fortgeleiteter Töne durch Resonanz (Wheatstone) . . . . . . . . . . . 263

### IV. Schwingungsgesetze elastischer Saiten, Stäbe, Membranen, Platten, Kugeln,

(von Poisson, Cauchy und Savart) . . . . . . 264
Allgemeine Sätze . . . . . . . . . . 266

Seite
Longitudinale Schwingungen von Saiten und Stäben . . . . 267
Transversale Schwingungen von Saiten und geraden parallelepipedischen Stäben . . . . . . . . . . . 271
Drehende Schwingungen . . . . . . . . . . 278
Longitudinale Schwingungen von kreisrunden Membranen und starren Scheiben . . . . . . . . . . . . 280
Transversale Schwingungen runder Membranen . . . . . 282
Transversale Schwingungen quadratischer und rechteckiger Membranen 283
Transversale Schwingungen kreisförmiger Scheiben . . . . 285
Schwingungen einer Kugel . . . . . . . . . 287

V. Klangfiguren.
Hervorbringung der Klangfiguren (Chladni, Strehlke) . . 291
Klangfiguren auf Scheiben aus Körpern von nach verschiedenen Richtungen verschiedener Elasticität (Savart) . . . . 294
Bestimmung der Klangfiguren auf Membranen und Scheiben (Poisson) . . . . . . . . . . . . . 295
Messungen von Klangfiguren auf quadratischen Scheiben (Strehlke) 305

VI. Musikalische Instrumente.
Äolsharfe (Pellisov) . . . . . . . . . . 309
Maultrommel (Wheatstone) . . . . . . . . 313
Gender (Wheatstone) . . . . . . . . . 314
Zungenpfeifen (Weber) . . . . . . . . . 314

VII. Stimme und Gehör.
Stimmwerkzeuge (Granville, Bennati) . . . . . 334
Gränze der noch wahrnehmbaren Töne (Savart) . . . . 335
Empfindlichkeit des Ohres für Unterscheidung der Töne . . . 341

# Dritter Abschnitt.

## Lehre von der gewöhnlichen Elektricität.

Elektricitätserregung durch Reiben von Porzellan, Tuch (Döbereiner, Muret de Bore, Köchlin-Schouch) . . 342
Elektricitätserregung durch Erwärmen von Glas (Matteucci, Muncke) . . . . . . . . . . . 343
Elektricitätsentziehung durch Flammen (Bonnycastle) . . 345
Vertheilung und Binden der Elektricität (Pfaff) . . . 347
Weber's Luftelektrophor . . . . . . . . . 348
Gesetze der durch Binden angehäuften Elektricität (Harris) . . 349
Elektroskope (Bary) . . . . . . . . . 350
Elektrische Entladungen (Pianciani) . . . . . . 352
Elektrisches Leuchten der Blumen (Zawadzki) . . . . . 352

# Vierter Abschnitt.

## Lehre vom Galvanismus.

### I. Über die Theorie des Galvanismus im Allgemeinen.

Seite

Streit der chemischen nnd Berührungstheorie des Galvanismus (Rive, Pfaff, Becquerel, Marianini, Parrot, Ohm, Fechner) . . . . . . . . . . . 354

### II. Elektroskopische Erscheinungen einfacher und zusammengesetzter, ungeschlossener und geschlossener Ketten.

Störungen bei elektrometrischen Versuchen (Ohm) . . . . . 366

Vertheilung der Berührungselektricität im Spannungszustande in galvanischen Plattenpaaren (Fechner) . . . . . . 367

Elektroskopische Wirkungen der geschlossenen einfachen galvanischen Kette (Ohm) . . . . . . . . . . . . 370

### III. Trockene Säulen.

Trockene Säulen mit verschiedenen organischen Substanzen (Kämtz) 381

Einfluß der Atmosphäre auf trockene Säulen (Donné) . . . 381

Strömungswirkungen trockener Säulen (Peltier) . . . . 383

Pendelbewegungen durch trockene Säulen . . . . . . . 384

### IV. Verschiedene galvanische Apparate und Mittel zu Versuchen.

Galvanische Apparate mit flüssigen Metallen von Kemp . . . 384

Albert's galvanischer Apparat . . . . . . . . . . 387

Mittel, die Stärke und Wirkungsdauer galvanischer Ketten bedeutend zu verstärken (Fechner) . . . . . . . . . 388

Vorbereitung der Kohle zu galvanischen Versuchen (Kastner) . 388

### V. Maß der Wirkungen galvanischer Ketten

(Fechner, Nobili) . . . . . . . . . 388

### VI. Umstände, durch welche die Stärke und Dauer der Kraft geschlossener galvanischer Ketten bestimmt wird.

A. Grundgesetz der geschlossenen Kette (Ohm, Fechner) . . . 392

B. Elektromotorische Kraft (Fechner) . . . . . . . 400

C. Widerstand der Schließungsdrähte und anderer fester Körper . 401

Allgemeine Sätze über den Widerstand der Schließungsdrähte (Fechner) . . . . . . . . . . . . . 401

Gesetze des elektromagnetischen Multiplicators (Ohm) . . . 401

Galvanischer oder elektromagnetischer Telegraph (Ampère, Fechner) . . . . . . . . . . . . . . 402

Leitungsvermögen verschiedener Mineralien (Fox) . . . 403

Leitungsvermögen der Kohle im Zustande der Verbrennung (Kemp) . . . . . . . . . . . . . . 404

D. Leitungswiderstand der Flüssigkeiten (Fechner, Bigeon, Ritchie, Pfaff) . . . . . . . . . . . 405

Seite
E. Widerstand des Überganges (Fechner, Rive, Pohl) . . 414
F. Erregende Oberfläche (Fechner, Marianini, Bigeon) . 417
G. Combination der Plattenpaare nach dem Principe der Säule 425
H. Zwischenbogen oder Zwischenplatten in der Kette (Fechner, Pohl) . . . . . . . . . . . 430
I. Wirkungsabnahme und Wirkungswiederherstellung galvanischer Ketten (Fechner) . . . . . . . . . 430
I. Allgemeine Bestimmungen über den Gang der Wirkungsabnahme . . . . . . . . . . 431
II. Wogen der Kraft der Kette, das durch Öffnung und Wiederschließung derselben, durch Einbringen und Wegnahme von Leitern in dieselbe oder aus derselben u. s. w. hervorgebracht wird . . . . . . . . . . 434
III. Ursache der Wirkungsabnahme im Allgemeinen . . . 436
IV. Änderung der einzelnen Elemente der Kette bei der Wirkungsabnahme . . . . . . . . . . 438
K. Sprünge im Wirkungszustande der Kette bei Abänderung des Leitungswiderstandes (Fechner) . . . . . . 445

VII. Verschiedene Umstände, welche die Erregung und Wirkungsart der Elektricität in geschlossenen Ketten betreffen.

Elektricitätsentwickelung durch Gold und Platin in Salpetersäure (Marianini) . . . . . . . . . . . . 449
Galvanische Wirkung bei verhinderter Gaserzeugung (Ritchie) . 449
Elektrische Schläge beim Zusammenlöthen von Wasserleitungen . . 450
Elektricitätsentwickelung bei Verbindung von Schwefel mit Metallen (Becquerel) . . . . . . . . . . 450
Elektricitätsentwickelung in Schachten (Fox) . . . . . . 451
Elektricitätserregung durch Berührung der Flüssigkeiten unter einander (Ohm, Becquerel) . . . . . . . . 452
Ketten mit zwei verschiedenen Flüssigkeiten (Ritchie, Rive, Becquerel) . . . . . . . . . . . 454
Einfluß der Härte und Beschaffenheit der Oberfläche auf die Positivität und Negativität (Ritchie) . . . . . . . 456
Elektricitätserregung durch Berührung von Gold mit anderen Substanzen (Becquerel) . . . . . . . . . 456
Ladungsphänomene (Marianini, Ohm) . . . . . . 457
Umkehrungsphänomene (Marianini, Rive, Wetzlar, Fechner) 458
Strömung durch ungleichzeitiges Eintauchen homogener Platten (Tünnermann, Wetzlar, Marianini) . . . . . 461
Kreuzung elektrischer Ströme (Marianini, Kemp) . . . . 461

VIII. Wärmeerscheinungen der galvanischen Kette.

Wärmeentwickelung durch die galvanische Kette (Rive) . . . 463
Galvanische Funken in Flüssigkeiten (Marianini) . . . 464
Funken durch die Flamme (Marianini) . . . . . . 466

Seite

Formel für die Kraft, mit welcher ein in der Kette befindlicher Theil zu erglühen strebt (Ohm) . . . . . . 466

IX. Beziehung des Galvanismus zur Physiologie.

Über den galvanischen Schlag (Marianini, Hübenthal, Kemp) 472

Galvanische Froschschenkelversuche (Marianini, Nobili, Lehot, Matteucci) . . . . . . . 472

Galvanisch-physiologische und therapeutische Versuche (Müller, Lembert, Marianini) . . . . . . . 476

X. Thermoelektricität geschlossener Ketten.

Apparat, um thermoelektrische Wirkungen nachzuweisen und zu messen 482

Abhängigkeit der thermoelektrischen Kraft von der Temperaturdifferenz (Becquerel) . . . . . . . 484

Gesetz der galvanischen Spannungsreihe, auch für thermoelektrische Ketten nachgewiesen (Becquerel) . . . . . 487

Thermoelektrische Wirkung, am Condensator nachgewiesen (Becquerel) 487

Verschiedene Umstände in Bezug auf thermoelektrische Ketten (Becquerel) . . . . . . . . . . 489

Thermoelektrisches Differenzialthermometer (Nobili) . . . 489

---

# Erster Abschnitt.

## I. Apparate zum Messen räumlicher Dimensionen, Winkel, Gewichte.

---

### Linearmaße.

**Maßstab von Werner** *). **Baumgartner** beschreibt folgende Einrichtung eines Maßstabes vom Mechanikus **Werner**, deren er sich zum genauen Messen der Distanz zweier Punkte oder Linien bedient (Fig. 1 und 2). A B ist ein hohler parallelepipedischer Körper aus Holz, der $4\frac{1}{4}$ Fuß lang, 7 Zoll breit und eben so hoch ist, und aus mehrern Holzstücken besteht, damit er nicht schwinde. Auf seiner oberen Fläche befindet sich eine messingene, 4 Fuß 1 Zoll lange, $1\frac{3}{8}$ Zoll breite Schiene a b, welche aus 3 auf einander geschraubten messingenen Linealen besteht, von denen die zwei äußern breiter sind, als das mittlere und so der Länge nach eine Furche oder Nuth bilden. Das oberste Lineal enthält die Theilung. Zur Seite dieses und mit ihm parallel sind zwei andere ähnliche Schienen c d und e f aus Messing eingesetzt, die aber zum Theil in Holz eingelassen und mit dem Rücken aufwärts gekehrt sind, so daß sie eine Rinne cd ef bilden, in welcher die Körper, deren Dimensionen man bestimmen (oder an denen man Linien von bestimmter Entfernung ziehen) will, mittelst hölzerner Keile befestiget werden. Der Maßstab enthält eine zweifache Theilung, nämlich nach Wiener Linien und nach Millimetern; beide Theilungen haben einen gemeinschaftlichen Nullpunkt. In der erwähnten Nuth lassen sich zwei Messingplatten g und h verschieben, die mit Querstäben, welche über a b gehen, gleichsam zu einer Rinne verbunden sind, und die Nonien für beide Theilungen enthalten, wovon der zur französischen Theilung gehörige $\frac{1}{100}$ Millimeter, der zur Wiener Theilung gehörige hingegen $\frac{1}{12}$ Linie angiebt. Damit die Oberfläche des Nonius beim Ablesen genau in der Ebene des Maßstabes liege, läßt er sich mittelst eines Schraubenkopfes m und n an den Maßstab andrücken. Beide Nonien stehen in fester Verbindung mit einer Schraubenvorrichtung l, durch welche sie an den Maßstab festgemacht werden, die sich aber auch lüften lassen, damit man den ganzen Nonius und was damit in Verbindung steht, längs des Maßstabes verschieben kann.

*) Suppl. zu Baumg. Phys. S. 29.

Ist die Schraube fest angezogen, so kann man dem Nonius mittelst der Mikrometerschraube k eine feine Bewegung ertheilen.

Um mittelst dieser Vorrichtung eine Dimension bestimmen zu können, ist in o ein aus zwei Linsen bestehendes Mikroskop angebracht, das sich heben und senken, aber auch feststellen läßt und im Brennpunkte einen mit einem Theilstriche des Nonius parallelen Faden hat. Befestigt man den Körper, auf dem eine Dimension gemessen werden soll, und schiebt den Rahmen der Nonien dahin, daß der Faden mit einer Gränze zusammenfällt, merkt den Stand auf dem Maßstabe an, thut dann dasselbe mit der zweiten Gränze, zieht beide Anzeigen am Maßstabe von einander ab, so erhält man die gesuchte Größe. Hiebei darf man weder den Maßstab, noch den zu messenden Körper mit der Hand berühren, damit nicht partielle Ausdehnungen eintreten.

Um mittelst dieser Vorrichtung Linien in bestimmten Entfernungen ziehen zu können, hat man noch eine andere Vorrichtung angebracht, die aus Fig. 1 zu ersehen ist und aus einer Art Schlitten besteht, in welchen der Reißhaken eingesetzt ist.

Tausendtheiliger Maßstab von Knar *). Mittelst der gewöhnlichen Maßstäbe läßt sich der Zoll nur in 100 Theile theilen, die folgende Einrichtung desselben gestattet eine Theilung in 1000 Theile.

Der Maßstab besteht, wie Fig. 3 zeigt, aus folgenden Theilen: ABCD oder eigentlich ABEF ist der allgemein bekannte hunderttheilige Maßstab, dessen Gebrauch keiner Erörterung bedarf. In der Verlängerung der Linien DA und CB sind nun die zwei gleichen Längen AH, BG genommen, deren jede einen ganzen und $\frac{1}{10}$ Zoll enthält, so daß: AH = BG = $\frac{11}{10}$"; diese beiden Längen werden nun in 10 gleiche Theile getheilt, und die Theilungspunkte durch Transversallinien verbunden, gerade so wie bei ABCD. Die Hinzusetzung der Zahlen geschieht am besten auf diejenige Art, welche aus der beigefügten Zeichnung zu ersehen ist.

Der Gebrauch dieses Maßstabes kann für den etwas Geübtern keine Schwierigkeit haben, daher wir die, im Original beigefügte, nähere Auseinandersetzung desselben übergehen.

Irrungen wegen Biegung der Linearmaßstäbe **). Kater hat auf einen Umstand aufmerksam gemacht, der bei Linearmaßstäben, welche ganz genau sein sollen, eine wesentliche Irrung hervorbringen kann. Diese Irrung beruht darauf, daß, wenn der Maßstab auf einer Tafel liegt, welche nicht absolut eben ist ***), so wird, im Fall sie concav ist, die obere Fläche des Maßstabes vermöge seines Gewichts concav, die untere convex werden, um sich so der Krümmung der Tafel anzuschmiegen; ist dagegen die Fläche der Tafel convex, so wird umgekehrt die obere Fläche des Maßstabes convex, die untere concav werden, wodurch jedenfalls

*) Baumg. Zeitschr. VII. 58.

**) Phil. trans. 1830. P. II. p. 359.

***) Es ist aber sehr schwer, eine absolut ebene Tafel zu erlangen.

die richtigen Abstände der auf der Oberfläche des Maßstabes verzeichneten Dimensionen abgeändert werden *).

Von den sehr ausführlichen Untersuchungen, welche der Verf. in Bezug auf den vorliegenden Gegenstand angestellt hat, wollen wir bloß die Resultate mittheilen, welche folgende sind:

1) der Irrthum, welcher von der in Rede stehenden Ursache herrührt, verhält sich in Maßstäben aus derselben Materie und von ungleicher Dicke innerhalb gewisser Gränzen wie die Dicke des Maßstabes.

2) Dieser Irrthum verhält sich direct wie der Sinus versus der Krümmung der Oberfläche, auf welche der Maßstab gelegt ist.

3) In der Dicke des Maßstabes giebt es eine Fläche (neutrale Fläche), welche weder Contraction noch Ausdehnung bei der Krümmung des Maßstabes erleidet. Diese scheint kaum $\frac{1}{3}$ von der convexen Fläche des Maßstabes entfernt zu sein.

4) Eine Convexität der unterliegenden Tafel bringt einen beträchtlich kleinern Irrthum zu Wege, als eine eben so große Concavität. Dies hängt mit dem Vorigen zusammen: denn da die neutrale Fläche der convexen Fläche viel näher als der concaven liegt, so werden, wenn die Dimensionen auf der convexen Fläche verzeichnet sind, dieselben weniger abgeändert werden, als wenn sie auf der concaven Fläche verzeichnet sind. Als Beispiel diene folgende Tabelle, worin die Irrthümer auf das reducirt sind, was sie sein würden, wenn sämmtliche Maßstäbe 36 engl. Zoll lang und $\frac{1}{2}$ Zoll dick wären **).

| | Irrthum bei nach oben gekehrter Convexität. | Irrthum bei nach oben gekehrter Concavität. | Summe der Irrthümer bei einem Sinus versus von 0,01 engl. Zoll. |
|---|---|---|---|
| | Zoll | Zoll | Zoll |
| Probe-Yard des Reichs ***) | 0,00013 | 0,00031 | 0,00044 |
| Schuckburgh's Maßstab . | 0,00017 | 0,00042 | 0,00059 |
| Dollond's Maßstab . . | 0,00012 | 0,00056 | 0,00068 |
| Kater's Maßstab . . . . | 0,00025 | 0,00061 | 0,00086 |

Die Maßstäbe in dieser Tabelle sind sämmtlich aus Messing. Die Verschiedenheit in der Bearbeitung des Messings scheint Ursache der Verschiedenheit in dem absoluten Werthe der Irrthümer zu sein.

*) Statt des wahren Maßes bestimmt dann die Sehne des Bogens, welchen die Krümmung bildet, die Entfernung.

**) Die Krümmung ward bei diesen Versuchen durch Unterlegen eines Drahts von $\frac{1}{100}$ Zoll Durchmesser unter die Mitte, oder zweier solcher Drähte unter die Enden des Maßstabs hervorgebracht.

***) Imperial Standard Yard.

5) Der von der in Rede stehenden Ursache abhängige Irrthum übersteigt bei Weitem den, welcher von der Längendifferenz zwischen dem Bogen und der Sehne unter gleichen Umständen herrühren könnte, so daß z. B. die Summe der Irrthümer *) in einem Maßstabe von 1 Zoll Dicke bei einem Sinus versus von nicht $\frac{1}{100}$ Zoll beinahe $\frac{1}{1000}$ beträgt, während das Doppelte der Differenz zwischen Sehne und Bogen nicht $\frac{1}{50000}$ ausmacht.

Um die Irrungen, welche von der in Rede stehenden Ursache herrühren, möglichst zu beseitigen, wendet Kater folgende Mittel an:

Da die neutrale Fläche, welche weder Expansion noch Contraction erleidet, ungefähr um $\frac{1}{3}$ der Dicke (oder etwas weniger) von der converen Fläche des Stabes entfernt liegt, so hätte man, wenn der Maßstab immer auf convexe Flächen zu liegen käme, nur nöthig, an den Enden des Stabes $\frac{1}{3}$ von seiner Dicke oben wegzunehmen, und auf den Enden von so reducirter Dicke die festen Punkte anzugeben, die dann in unveränderlichem Abstande bleiben würden. Da aber der Maßstab eben so gut auf concaven Flächen zu liegen kommen kann (wo die Convexität des Maßstabes auf die andre Seite fallen würde), so ist es besser, anstatt $\frac{1}{3}$ der Dicke vielmehr $\frac{1}{2}$ derselben wegzunehmen, indem dann zwar jedenfalls ein kleiner Irrthum bei der Lage sowohl auf einer converen als einer concaven Fläche übrig bleiben muß, der aber doch wegen seiner Geringfügigkeit aus der Acht gelassen werden kann.

Sind auf dem Maßstabe mehrere Unterabtheilungen anzugeben, so findet das vorige Mittel nicht mehr Statt. In diesem Falle räth Kater, eine verhältnißmäßig nur dünne Platte zur Verzeichnung des Maßstabes anzuwenden und diese auf einer dickern als Unterlage zu befestigen, wo sich der Irrthum nach Verhältniß der Dünne der Platte reduciren wird.

## Apparate, die Ebenheit und Horizontalität zu prüfen.

Prüfung der Ebenheit von Kater **). Kater giebt folgende Methode an, um zu prüfen, ob eine für eben gehaltene Oberfläche es wirklich ist. Man applicirt auf dieselbe in verschiedenen Richtungen eine Pianofortesaite von etwa $\frac{1}{100}$ Zoll Durchmesser, welche auf einem 6 Fuß langen Bogen straff gespannt ist, und sieht zu, ob sie sich auch überall genau anlegt.

Hat man eine Tafel, die unregelmäßig erhöht und vertieft ist, so kann man die Beschaffenheit und selbst in gewissem Grade die Ausdehnung der Unregelmäßigkeiten durch folgenden Kunstgriff bestimmen: Man tippt mit den Fingern auf die Saite, während sie durch das Gewicht des Bogens auf die Tafel gedrückt wird. Wo die Saite einen Ton giebt, ist die Tafel concav und die Höhe und Tiefe des Tons kann einigermaßen auf die Ausdehnung der Concavität schließen lassen, indem die Ränder der Conca-

*) Die Summe der Irrthümer wie in voriger Tabelle verstanden.

**) Philos. transact. 1830. P. II. 375.

vität gleich Stegen wirken, welche die Saite begränzen. Dies Prüfungsmittel ist so empfindlich, daß eine Concavität durch dasselbe entdeckt werden kann, auch wenn der Abstand zwischen Draht und Tafel für das Auge unmerklich ist.

Kater theilt folgende Beispiele von Krümmungen mit, die er an Oberflächen, welche für eben galten, beobachtete:

| | Länge in Zollen. | Krümmung. | Sinus versus der Krümmung in Zollen. |
|---|---|---|---|
| Ein Mahagony-Eßtisch . . . . . | 42 | concav | 0,04 |
| Ein marmornes Kamin-Stück . . . | 61 | desgl. | 0,12 |
| Ein andres . . . . . . . . . . | 62 | desgl. | 0,04 |
| Ein andres . . . . . . . . . . | 62 | desgl. | 0,10 |
| Deckel eines schön gearbeiteten Pianoforte's von Rosenholz . . . . . | 48 | desgl. | 0,03 |

Verfahren, den Werth der Scale und die Krümmung einer Wasserwage (Libelle) zu bestimmen, von Nixon *). Man schneide von steifem Papiere einen rechtwinkeligen Streifen von gehöriger Länge und ½ Zoll Breite ab, und drücke ihn an die, mit haltbarem Kleister versehene, Glasröhre so an, daß eine Kante desselben genau in die Ebene fällt, welche durch die Axe der Wasserwage und die Blase geht. Ist der Kleister getrocknet, so theile man das Papier in gleiche, aber sehr kleine Theile und versehe sie mit Ziffern. Diese Wasserwage wird nun zu einem Theodolith gebraucht und der Werth jeder Abtheilung ihrer bisher willkührlichen Scale gesucht. Zu diesem Ende wird das Fernrohr so gestellt, daß dessen optische Axe auf der Wasserwage senkrecht steht, der Nonius des verticalen Kreises auf den Nullpunkt desselben einspielt, und es sich gerade über zwei Schrauben des Fußgestelles befindet. In dieser Stelle befestige man die Klemmung des horizontalen Kreises, bewege mittelst dieser Schrauben die Blase der Wasserwage bis zum Nullpunkt ihrer Scale und merke sich den Stand beider Enden. Hierauf treibe man die Blase mit der Tangentialschraube des verticalen Kreises gegen das andere Ende der Scale, und merke sich den Stand seiner beiden Endpunkte wieder. Die halbe Differenz aus der Summe der Zahlen, welche die Endpunkte der Blase in jeder Stellung bezeichnen, giebt nun offenbar den von der Blase zurückgelegten Raum an, und dieser mißt im Bogen den Winkel, um den das Fernrohr geneigt wurde. Wird diese Messung öfters wiederholt, und aus allen Resultaten der Mittelwerth gewonnen, so erhält man den Werth einer Abtheilung der Scale mit großer Genauigkeit.

*) Philos. Mag. March. 1829. p. 175, oder Baumg. Zeitschr. VI. 252.

Auf ähnliche Weise, nur mit dem Unterschiede, daß sich Nixon eines Horizontalsectors statt eines Theodoliths bedient, wird die Krümmung einer Wasserwage von ihm ausgemittelt.

Über die Krümmung der Wasserwagen *). Nixon hat durch Versuche mittelst des eben beschriebenen Verfahrens gefunden, daß die Wasserwagen durch die Fassung an Empfindlichkeit verlieren, und daß man die Richtigkeit der Angaben des Werthes jeder Scale, wie er von Künstlern angegeben wird, erst durch genaue Versuche ausmitteln müsse, um nicht Irrthümern ausgesetzt zu sein. In der Originalabhandlung sind nähere Belege in diesem Bezug beigefügt.

## Winkelmessung.

Optisches Verfahren, um an einem Prisma zu erkennen, ob zwei Winkel desselben gleich sind, von Moser **). Das Prisma sei in Fig. 4 vorgestellt, und $\Psi$, $\Psi'$ die beiden Winkel, deren Gleichheit man prüfen will. Man betrachte einen Gegenstand S durch Reflexion von der Basis des Prisma, indem man das Auge in die gehörige Lage nach S' bringt. Wenn der Gegenstand farblos erscheint, so sind die Winkel $\Psi$ und $\Psi'$ gleich, erscheint er gefärbt, so sind sie ungleich, und zwar ist der Winkel $\Psi$ größer als $\Psi'$, wenn die blaue Farbe nach Oben kommt und die am meisten abgelenkte ist; umgekehrt $\Psi'$ größer als $\Psi$, wenn die blaue Farbe am wenigsten abgelenkt ist, und das Roth zu Oberst erscheint.

Dieses Verfahren ist einer sehr einfachen Ableitung fähig. In der That, es falle Licht von S ein und werde in d reflektirt. Man hat $\varphi''' = \varphi' + \Psi - \Psi'$, mithin $\sin. \varphi'' = n. \sin. [\varphi' + \Psi - \Psi')$. — Ist $\sin. \Psi = \Psi'$ so ergiebt sich $\sin. \varphi'' = \sin. \varphi$. Der Werth von $\sin. \varphi''$ ist also in diesem Falle unabhängig von n, d. i. unabhängig von dem Brechungsverhältnisse der einzelnen Farbestralen und das Licht wird farblos austreten. Ist aber $\Psi > \Psi'$, so findet sich $\sin. \varphi'' = \sin. \varphi +$ einem von n abhängigen Gliede. Je größer hier n wird, um so größer $\sin. \varphi''$ und $\varphi''$ selbst, d. h. die blaue Farbe ist am meisten abgelenkt. Ist umgekehrt $\Psi' > \Psi$, so hat man $\sin. \varphi'' = \sin. \varphi -$ einer von n abhängigen und damit wachsenden Größe. Je größer also hier n, um so kleiner $\sin. \varphi''$ und $\varphi''$.

Goniometer von Majocchi ***). Dieses Goniometer besteht aus zwei Linealen A B, C D (Fig. 5), welche mittelst eines Bolzens in o so mit einander verbunden sind, daß sie sich um denselben bewegen, und jede Neigung gegen einander annehmen können. In einem Drittel ihrer Länge und in gleichen Entfernungen vom Mittelpunkte der Bewegung befinden sich zwei andere Bolzen e, g, um welche sich zwei metallene Stäbe

*) Baumg. Zeitschr. VI. 254.

**) Pogg. XVI. 70.

***) Bibl. ital. 1829. Aprile, 37. Baumg. Zeitschr. VI. 471.

e f, g h drehen können, deren jeder so lang ist, wie die Stäbe o e und o g, deren Länge einem Drittel der Länge von A B oder C D gleicht. In f sind die Stäbe e f, g f charnierartig verbunden, so daß alle vier Stäbe o e, o g, e f, g f bei jeder Öffnung des Instrumentes ein Quadrat oder einen Rhombus bilden. Die Lineale A B, C D haben der Länge nach einen Ausschnitt, der sich von einem Ende derselben durch zwei Drittheile ihrer Länge erstreckt, so daß das Instrument sowohl die Gestalt X als die Gestalt Y annehmen kann. Den Winkel, welchen die zwei Stäbe e f und g f mit einander einschließen, mißt der eingetheilte Halbkreis p r q, welcher an dem Apparate befestigt ist.

Will man nun mit diesem Instrumente den Winkel messen, welchen zwei Ebenen mit einander machen, so giebt man dem Instrumente die Gestalt X, und öffnet die zwei Lineale so weit, daß sie die beiden Ebenen berühren, in welchem Falle der Halbkreis den zu messenden Winkel aus der Lage der Stäbe e f und g f erkennen läßt.

Reflexionsgoniometer. Über die Beurtheilung der Fehler, welche man bei Messung der Krystallwinkel mittelst des Reflexionsgoniometers von Wollaston und Malus begehen kann, hat Jul. Weisbach eine ausführliche Abhandlung geliefert, hinsichtlich deren wir, da sie nicht wohl eines einfachen Auszuges fähig ist, auf das Original verweisen in Baumg. Zeitschr. IX, 269—302.

## Wage.

Wage, mit einem Glasfaden construirt, zu feinen Gewichtsbestimmungen, von Ritchie *). Ritchie hat von dem weiterhin anzuführenden Umstand, daß die Elasticität feiner Glasfäden fast ins Unbestimmte ihrer Drehung proportional ist, Nutzen zur Construction feiner Drehwagen zu Messung feiner Gewichte gezogen. Die Einrichtung einer solchen Wage, wie sie von ihm beschrieben wird, ist folgende:

Man verfertige einen kleinen hölzernen Wagebalken b (Fig. 6), welcher sehr leicht ist und eine Länge von etwa 1 Fuß oder 15 Zoll hat. In seiner Mitte (senkrecht darauf) befestige man eine stählerne scharfe Schneide k, ähnlich der Klinge eines Federmessers. An dem einen Ende dieser Schneide und in der Verlängerung der Schärfe wird ein ganz fein ausgezogener Glasfaden befestigt, während das andere Ende von letzterem durch Siegellack in der Mitte eines kleinen cylindrischen Stabes a, den wir den Schlüssel nennen wollen, fest geklebt wird, welcher durch den Mittelpunkt eines vertical stehenden und in gleiche Theile getheilten Kreises geht, und sich in dieser Mitte ganz wie die Zwinge einer Drehwage herumdrehen läßt. An der entgegengesetzten Seite der Schneide werden in der Verlängerung der Schärfe einige Fäden ungezwirnter Seide befestigt, deren zweites Ende an eine Spiralfeder von Messing s gebunden wird, welche

*) Philos. transact. 1830. P. II. p. 219, oder Schweigg. Journ. LXI. 386, oder Pharmac. Centralbl. II. 376.

dazu dient, den Glasfaden stets gespannt zu halten. Die Messerschneide ruht auf zwei Stückchen einer Thermometerröhre, die von einem vertical stehenden Ständer getragen wird. An den Enden des Wagebalkens werden kleinere Schneiden zur Aufnahme der Schaalen angebracht. An dem einen Ende des Wagebalkens ist eine (nicht mit verzeichnete) Nähnadel als Zeiger angebracht, um an einer eingetheilten Scale die horizontale Lage des Wagebalkens zu bezeichnen; ein ähnlicher Zeiger befindet sich am Schlüssel a befestigt, um die Grade, um welche derselbe gedreht worden ist, anzugeben.

Den Gebrauch des Instruments betreffend, so müssen wir zwei Operationen beschreiben, nämlich die Abwägung kleinerer und die größerer Massen.

1) Das Gewicht einer kleinen Masse zu bestimmen, wenn man nur ein Gewicht von etwa einem Gran anwendet. — Man drehe den Glasfaden vermittelst des Schlüssels durch eine oder zwei Kreisperipherien, je nach dem Grade der Drehung, welche er aushält, ohne zu zerreißen. Man lege Feilspäne, oder ein beliebiges anderes Gegengewicht in die eine Schaale, bis der Wagebalken nah horizontal steht, während der Zeiger, welcher die Größe der Drehung angiebt, auf dem Nullpunkte des getheilten Kreises steht. Man lege den zu wägenden Körper in die Wagschaale, die durch Zurückdrehen des Fadens gehoben wird. Man drehe den Schlüssel so lange, bis die elastische Kraft des Fadens das Gewicht hebt, und beobachte sorgfältig den Punkt der Scale, bei welchem der am Wagebalken angebrachte Inder stehen bleibt, nebst der Anzahl von Graden, um welche der Faden gedreht wurde. Man entferne jetzt den Körper, und drehe den Faden zurück, bis der Balken in seine frühere horizontale Lage zurückkehrt. In dieselbe Schaale lege man nun ein bekanntes kleines Gewicht, und drehe den Faden so lange, bis der Balken seine frühere horizontale Richtung wieder annimmt, dann giebt das Verhältniß der Drehung auch das zwischen dem bekannten und unbekannten Gewichte. Gesetzt, es war eine Drehung von 1500 Graden nöthig, um den Körper B zu heben, dagegen 1000° zur Hebung von einem Grane, dann giebt das Verhältniß 1000 : 1500 = 1 Gran: 1,5 Gran das Gewicht des Körpers. War zur Hebung des letztern nur eine Drehung von 50° erforderlich, so beträgt sein Gewicht $\frac{50}{1000} = \frac{1}{20}$ Gran.

2) Ist der zu wägende Körper viel schwerer als 1 Gran, dann ist die Methode der doppelten Abwägung am bequemsten zur Bestimmung des Gewichtes innerhalb eines Granes, der fehlende Theil wird dann am besten durch Drehung gesucht. Der Körper wiege nahe 100 Gran, so drehe man den Faden, eben so, wie bei vorigem Versuche, durch eine oder zwei Peripherieen. Durch kleine Gegengewichte bringe man den Balken in eine horizontale Lage. Man lege den Körper in eine, und beliebige Körper in die andere Schale, bis jener im Gleichgewichte gehalten wird. Man entferne diesen nun, und substituire bekannte Gewichte, bis sie dem Gewichte

des Körpers nahe gleich sind. Darauf drehe man den Schlüssel so lange, bis der Balken in eine horizontale Lage kommt, und notire die Größe der Drehung. Man lege nun einen Gran in die Schale, und beobachte jetzt die Drehung, welche erforderlich ist, um den Balken in seine horizontale Lage zurückzuführen, so erhalten wir dadurch den Theil eines Granes, um welchen der Körper die bekannten Gewichte übersteigt. Gesetzt, der Körper wiegt nahe 100 Gran, und es sei eine Drehung von 50° erforderlich, um die Schale zu heben, wenn nach Entfernung des Körpers 99 Gran in sie gelegt wurden, während zur Hebung eines Granes eine Drehung von 1000° angewendet wurde, so ist das Gewicht des Körpers $99\frac{50}{1000}$, oder 99,05 Gran.

Um die Störungen zu vermeiden, welche durch Einwirkung von Luftströmen auf den Wagebalken und die Schalen verursacht werden, ist es zweckmäßig, das Ganze, wie bei einer gewöhnlichen Wage, in ein Gehäuse zu stellen. Es ist jedoch nicht nöthig, den Glasfaden und den getheilten Kreis ebenfalls in letzteres zu bringen, es genügt, den Faden durch ein Loch in das Innere des Kastens zu führen, und ihn zu entfernen, wenn die Wage nicht gebraucht wird. Zweckmäßig ist es, sich eine Anzahl Faden von verschiedenen Graden der Feinheit zu verfertigen, und an ihren Enden kleine Messingstäbchen festzukitten, um sie mit Leichtigkeit an der Wage anzubringen.

Das beschriebene Verfahren mag vielleicht etwas langweilig erscheinen, aber in der That dauern die Oscillationen nicht so lange, als in einer empfindlichen Wage ohne Faden. Bei manchen feinen Versuchen, die der Verf. mit dieser Wage anstellte, benutzte er Glasfäden von etwa 10 Fuß Länge, so daß der Glasfaden um wenigstens 5000 Grad gedreht werden mußte, wenn er das Gewicht eines Granes heben sollte, so daß sich ein kleiner Theil eines Granes mit großer Schärfe auffinden ließ.

---

## II. Über die Verhältnisse der kleinsten Theilchen der Körper, Structur der Körper.

---

### Über die gegenseitige Entfernung der kleinsten Körpertheilchen.

Man muß es gegenwärtig sehr wahrscheinlich finden, daß die Theilchen in den Krystallen, welche bloß Eine optische Axe haben, sich nach der Richtung dieser Axe mehr genähert oder mehr von einander entfernt sind, als nach den darauf senkrechten Richtungen, je nachdem die Axe positiver Natur (wie im Bergkrystall) oder negativer Natur (wie im isl. Spath) ist. In der That haben Fresnel und Brewster durch Versuche an Glas, so wie an einer Mischung von Wachs und Harz gezeigt, daß diese Substanzen durch Druck nach Einer Richtung, wodurch sich ihre Theilchen mithin

nach dieser Richtung einander genähert werden, eine positive Axe doppelter Brechung nach dieser Richtung erlangen; und in Zusammenhang damit scheint auch zu stehen, daß nach Savarts Versuchen die (negative) Axe des Kalkspaths in die Richtung der kleinsten Elasticität, die (positive) Axe des Quarzes in die Richtung der größten Elasticität fällt. Wäre diese Vorstellung richtig, so würde man dann anzunehmen haben, daß in zweiaxigen Krystallen die Entfernung der Theilchen nach der Richtung, welche senkrecht auf der Ebene der beiden optischen Axen steht, ein Maximum oder Minimum ist.

## Krystallinische Structur scheinbar nicht krystallisirter Körper.

Aus folgenden Erfahrungen Savarts *) scheint hervorzugehen, daß alle feste Körper, auch die scheinbar gar kein krystallinisches Gefüge besitzen, doch im Grunde nur als eine so verworrene Anordnung von kleinen Krystallen zu betrachten sind, daß das krystallinische Gefüge nicht ohne besondere Hülfsmittel zur Wahrnehmung gebracht werden kann. (Bekanntlich deuten auch die Erscheinungen des moiré metallique hierauf).

Kreisrunde Metallscheiben von gleicher Dicke, sie mögen nun in Formen gegossen, von großen Massen abgenommen, oder aus gewalzten Blechen geschnitten sein, verhalten sich in Bezug auf Schallschwingungen immer so, als wenn sie wirklich einem faserigen oder regelmäßig krystallisirten Körper angehört hätten **). Wenn man z. B. diejenige Theilungsart, welche aus zwei sich rechtwinklig schneidenden Linien besteht, auf ihnen hervorzubringen sucht, so tritt diese Theilungsart nur in zwei bestimmten, nicht aber gleichgültig in jeder beliebigen Lage ein, fast immer unter der Gestalt von hyperbolischen Curven, begleitet von zwei ungleichen Tönen, deren Intervall zuweilen fast unmerklich ist, zuweilen aber eine Terz, eine Quarte, und sogar eine Quinte beträgt, welche Tonverschiedenheit nur von einer Ungleichheit der Elasticität nach den verschiedenen Richtungen, gerade wie man solche bei Platten, die aus Krystallen nach verschiedenen Richtungen geschnitten sind, beobachtet, abhängig gemacht werden kann.

Die Resultate dieser Art fielen bei sehr vielen und abgeänderten Versuchen über diesen Gegenstand an Scheiben von Gold, Silber, Kupfer, Zink, Gußeisen, geschmiedetem oder gewalzten Eisen, von Zinn, Blei, Wismuth, Stahl, Antimon, von einer Menge Legirungen aus diesen Substanzen, als Glockengut, Messing u. s. w. immer constant aus, so daß man es als ausgemacht ansehen kann, daß eine Metallscheibe sich immer wie eine Krystallscheibe verhält. Dessenungeachtet aber sind die Metalle nicht als regelmäßig krystallisirt anzusehen. Denn Versuche an Blei und Zinn lehrten, daß, wenn man verschiedene kreisrunde Scheiben von gleichem

*) Ann. de Chim. et de Phys. XLI. 61. oder Pogg. XVI. 248.

**) Vergl. hierüber das Kapitel von den Klangfiguren.

Durchmesser und gleicher Dicke aus einer und derselben Ebene schneidet, sie im Allgemeinen keine parallelen Theilungsarten annehmen und keine gleichen Töne geben, und daß eben so wenig Entsprechen der Theilungsarten und Töne Statt findet, wenn man mehrere Ebenen einander parallel herausschneidet.

Es scheint daher für die Metalle eine halbregelmäßige Structur angenommen werden zu müssen, gleich als wenn sich im Moment des Erstarrens in ihrem Innern mehrere besondere Krystalle von ziemlich beträchtlichem Volumen bildeten, deren homologe Flächen aber nicht denselben Punkten im Raume zugewandt wären, und es würden nach dieser Vorstellung die Metalle gleichsam Gruppen von Krystallen sein, von denen jeder einzelne eine regelmäßige Structur besitzt, während die ganze Masse durchaus verworren erscheint.

Diese Betrachtungsweise wird durch direkte Beobachtung einiger der die Erstarrung der Metalle begleitenden Umstände unterstützt. Untersucht man nämlich aufmerksam die Oberfläche einer Bleimasse, die eben erstarren will, so gewahrt man hie und da kleine geradlinige, oft mehrere Centimeter lange Furchen, die eine ganz zufällige Lage zu haben scheinen, und die immer von einer großen Menge anderer, aber viel kürzerer, Furchen gleicher Art durchkreuzt werden, wodurch dann dieses sonderbare Netz, dessen Entstehung auf eine Art von regelmäßiger Anordnung der darunter liegenden Theile deutet, die Oberfläche der Metallmasse bald gänzlich überzieht. Hat man eine etwas beträchtliche Masse Blei, z. B. 12 bis 15 Kilogramme geschmolzen, und wartet den Augenblick ab, wo die erstarrte Schicht etwa eine Dicke von 5 bis 6 Millimeter besitzt, durchbohrt sie dann mit einem rothglühenden Eisenstabe und kehrt nun das Gefäß rasch um, damit der noch flüssige Theil des Metalls herausfließe, so zeigt wirklich die untere Seite der erstarrten Schicht eine Menge kleiner octaëdrischer Krystalle, geordnet nach parallelen und rechtwinklich sich kreuzenden Reihen, die eine mehr oder weniger beträchtliche Anzahl geschiedener Systeme bilden, und hinsichtlich ihrer Lage den Systemen kleiner Furchen entsprechen, die man auf der gegenüberliegenden Seite der starren Schicht wahrgenommen hatte.

Mit der Lupe betrachtet, scheinen die kleinen Krystalle, aus denen jedes System besteht, um drei gerade sich rechtwinklich schneidende Linien gruppirt, und zwar so, daß ihre Axen diesen Linien parallel liegen, und sie einander nur mit ihren Ecken berühren oder zu berühren scheinen. Wenn man sich nun denkt, daß die drei geraden Linien eines jeden Systems eine unbestimmte Lage in Bezug auf die analogen Linien der benachbarten Systeme annehmen, so erhält man eine ziemlich richtige Idee von der halbregelmäßigen Krystallisation einer Bleimasse. Ähnliche Resultate erhält man mit Kupfer, Zinn und Zink; auch ist zu bemerken, daß jene Systeme viel ausgedehnter sind, wenn man die Metalle lange Zeit hindurch in Fluß erhält oder zu wiederholten Malen umschmilzt.

## Über merkwürdige Lagenveränderungen der kleinsten Theilchen.

Robert Brown *) machte die Beobachtung, daß, wenn man einen beliebigen organischen oder unorganischen Körper (z. B. Pflanzentheile, Gummiharze, Staub, Ruß, Glas, Lava, Metalle u. s. w.), den man fein genug pulvern kann, daß der Staub davon einige Zeit im Wasser schweben bleibt, in diesem zertheilten Zustande in einem Wassertropfen unter dem Mikroskope betrachtet **), die Theilchen zum Theil, oder selbst (namentlich beim Ruße) fast alle unregelmäßige Bewegungen zeigen, welche einige Ähnlichkeit mit den Bewegungen von Infusorien haben, wodurch Brown veranlaßt wurde, ihnen den Namen actives molecules beizulegen, womit er ihnen jedoch nicht, wie man zum Theil mißverstanden hat, wirkliches Leben hat beilegen wollen.

Die Thatsache dieser Bewegungen ist von mehreren Beobachtern bestätigt worden, u. a. von Muncke, der einen hieher gehörigen Versuch folgendermaßen beschreibt:

„Wenn man ein Stückchen gummi guttae von der Größe einer Stecknadelspitze in einem großen Wassertropfen auf einem Glasscheibchen zerreibt, von dieser Lösung einen Theil, so viel an einem Stecknadelknopfe hängen bleibt, abermals mit einem Tropfen Wasser verdünnt, und hievon mit dem Stecknadelknopfe so viel, als etwa ein halbes Hirsenkorn beträgt, unter das Mikroskop bringt, so zeigen sich in der Flüssigkeit kleine braungelbe, meistens runde, aber auch anders geformte Pünktchen von der Größe eines kleinen Schießpulverkörnchens in Abständen von 0,25 bis 1 Linie von einander und in verschiedener gegenseitiger Lage. Diese Pünktchen sind sämmtlich oder größtentheils in steter langsamerer oder schnellerer Bewegung, so daß sie einen scheinbaren Raum von 1 Linie in 0,5 bis 2 oder 4 Secunden durchlaufen, willkührlich bald nach der einen, bald nach der andern Seite, abwechselnd stillstehend, umkehrend u. s. w. Nimmt man feines Mandelöl statt Wasser, so findet gar keine Bewegung Statt, aber in Weingeist ist sie so schnell, daß man sie kaum mit dem Auge verfolgen kann. Die Bewegung hat allerdings einige Ähnlichkeit mit der bei Infusorien wahrgenommenen, jedoch zeigt letztere mehr Willkühr. An Vitalität, wie vielleicht Einige geglaubt haben, ist dabei gar nicht zu denken, vielmehr halte ich die Bewegung für rein mechanisch, und zwar durch ungleiche Temperatur des stark erleuchteten Wassers, durch Verdampfung

*) Edinb. Journ. of Sc. No. VIII. 336, oder Edinb. N. phil. J. 1829. oct. 41, oder Bibl. univ. XLII. 114, oder Pogg. XIV. 294, oder (kurz) Schweigg. Journ. LX. 173, oder Fror. Not. XXV. 305, oder auch eine eigne Schrift: Brown's mikroskop. Beob., übersetzt von Beilschmidt, Nürnberg. Ein Nachtrag von Brown in Gills repository, dec. 1829, 337. — Vergl. ferner Muncke in Pogg. XVII. 160. — Marx in Schweigg. LX. 173. LXI. 121. — Brewster in Brewster Ed. Journ. of Sc. Vol. X. 215. — Raspail ibid. 96, oder in Ann. des sc. d'obs. III. 92.

**) Brown bediente sich eines einfachen Mikroskopes, dessen Linse eine Brennweite von ungefähr $\frac{1}{32}$ Zoll hatte.

desselben, durch Luftzug und Wärmeströmung u. s. w. erzeugt. Wenn man den Durchmesser des Tröpfchens zu 0,5 Linien setzt, so erhält man durch 500fache Vergrößerung eine scheinbare Wassermasse von 1,7 F. Seite mit kleinen darin schwimmenden Theilchen, und wenn man deren Bewegung auf gleiche Weise vergrößert denkt, so hört das Phänomen auf wunderbar zu sein, ohne übrigens das Interessante zu verlieren. Was sich beim gummi guttae wahrnehmen läßt, zeigt sich bei allen hinlänglich verkleinerten Körpern, namentlich nach Brown's Versuchen bei Corund."

Es erhellt zugleich aus dieser Beschreibung von Muncke, welcher Ursache derselbe diese Bewegungen zuschreibt. Sie einer ungleichförmigen Verdampfung allein beizumessen, scheint man allerdings durch Versuche Brown's verhindert zu werden, nach welchen sie sich auch eben so gut in Wassertröpfchen zeigen, die man durch Schütteln mit Mandelöl in dieses versenkt hat, worin sie Stunden lang fortbestehen können, ohne durch Verdampfung zu verschwinden *). Indeß ist leicht zu erachten, daß auch unabhängig hiervon die allergeringsten, durch Wärmedifferenzen veranlaßten, Strömungen in den Wassertröpfchen, zufällige Erschütterungen u. s. w. **) so leichte Theilchen werden in Bewegung zu setzen vermögen; und andererseits versteht sich wohl von selbst, daß unsere mechanischen Mittel nicht fähig sein werden, Körper bis in ihre letzten constituirenden Theilchen oder Atome aufzulösen. Man wird sonach, wenn man selbst in den vorstehenden Erscheinungen noch etwas Räthselhaftes erblicken will, wenigstens keinen Beweis für eine selbstständige Bewegung der kleinsten Theilchen der Körper darin finden können.

Dagegen lehren folgende Erscheinungen, daß unter gewissen Umständen allerdings sehr merkwürdige Änderungen der Molecularlagen, die sich noch auf kein bekanntes Princip zurückführen lassen, eintreten können. Die erste der hier anzuführenden Erscheinungen giebt zugleich ein interessantes Beispiel einer ähnlichen Farbenveränderung, als Thénard (Biots Lehrb. V. 72) früher an geschmolzenen Phosphorkügelchen beobachtet hat ***).

1) Erfahrung von Hayes an Quecksilberjodid ****). Wenn dies Salz sublimirt worden ist, so stellt es durchsichtige rhombische Tafeln von schöner schwefelgelber Farbe dar. Diese ändern sich nicht an der Luft oder im Sonnenlichte; dagegen genügt die schwächste Reibung oder Berührung mit einer feinen Spitze, die auffallendste Veränderung darin hervorzubringen. Der berührte Punkt nimmt augenblicklich eine intensiv scharlachrothe Farbe an und dieselbe Farbe verbreitet sich schnell über

*) Gills Repos. 1829. dec. 340. Kastn. Arch. XVIII. 490.

**) Eine Aufzählung der möglichen Ursachen, welche hiebei im Spiele sein können, s. in Schweigg. LX. 175.

***) Einige der nachfolgenden Erfahrungen sind zwar schon seit einiger Zeit bekannt; indeß hielt ich dafür, daß eine Zusammenstellung derselben nicht ohne Interesse sein würde.

****) Schweigg. LVII. 199.

die ganze Oberfläche, wenn man einen isolirten Krystall vor sich hat, ja erstreckt sich selbst bis auf den entferntesten Winkel, wenn man eine ganze Gruppe von (verwachsenen) Krystallen dem Versuch unterwirft. Diese Farbenwandlung ist mit einer deutlichen mechanischen Bewegung verknüpft, so daß ein kleines Häufchen solcher Krystalle wie belebt erscheint. Ein gewöhnliches Elektroskop giebt keine Anzeichen einer Elektricitätsentwickelung dabei, auch findet eben so wenig beträchtliche Temperaturerhöhung dabei Statt. Durch gelinde Erwärmung dieser Krystalle auf Papier, unter der Flamme einer Lampe, wird das Salz leicht wieder in seiner ursprünglichen gelben Farbe erhalten und der nämliche Versuch kann oft wiederholt werden.

Schweigger-Seidel hat diesen Versuch mit Erfolg wiederholt. Er bemerkt, daß es, um recht deutliche Resultate zu erhalten, nöthig sei, nur größere ausgebildete schwefelgelbe Krystalle anzuwenden.

2) Erfahrung von Herschel und Marx an schwefelsaurem Kupferoxydkali *). Man nehme schwefelsaures Kupferoxydkali, welches man leicht erhält, wenn man Kupfervitriol mit schwefelsaurem Kali zusammen auflöst, und die erlangten rhomboïdalen Krystalle mehrmals umkrystallisiren läßt, bis sie rein hellblau, mit einem schwachen grünlichen Schimmer, erscheinen. Einige davon in einem Platin-Löffel über der Spiritus-Lampe erhitzt, werden erst weiß, mit Verlust ihres Wassers, hierauf gerathen sie in Fluß und nehmen die schönste dunkelgrüne Farbe an. Nimmt man nun die geschmolzene Masse von der Flamme weg, so zieht sie sich beim Gestehen um etwas zusammen; dann zeigen sich an der Oberfläche und in ihrem Innern büschelförmige, seidenglänzende Krystalle, und bei weiterem Erkalten gerinnt das Ganze zu einer beinahe weißen Masse. Wartet man nun noch einige Augenblicke, so zeigt sich eine seltsame Bewegung an den Seiten. Mit einem leichten Knistern trennen sich einzelne Theile, hüpfen in die Höhe und fallen als ein weißer Staub wieder herab. Nachdem diese Bewegung mehr oder minder lange gedauert hat, fällt das Ganze zu Pulver zusammen. Mit diesem Pulver kann man denselben Versuch noch viele Male und in kürzerer Zeit als zuerst, weil nun kein Wasser mehr zu verflüchtigen ist, wiederholen. Rascher tritt die Bewegung und das Zerfallen ein, wenn man den noch heißen Löffel an die Oberfläche von kaltem Wasser bringt. Machte Marx den Versuch in einer unten zugeschmelzten Glasröhre, so erhielt er nur geringe Spuren von verflüchtigter Schwefelsäure. Gießt man die geschmolzene Masse auf einen kalten Körper aus, so erhalten sich die erstarrten Tropfen länger fest, und zeigen in ihrem Innern eine durchaus krystallinische Structur.

3) Erfahrung von Hünefeld an einem Doppelsalze aus Chlor, Zink und Platin **). Wenn man Zink so lange auf eine

*) Schweigg. Journ. LVII. 152.

**) Schweigg. Journ. LX. 202.

saure Platinlösung wirken läßt, bis gelbliches Pulver nebst metallischem Platin reichlich gefällt ist, den gesammten Niederschlag auskocht, und die hiedurch erhaltene gelbe Lösung filtrirt und abdampft, so erhält man ein Doppelsalz (Pt Cl + Zn Cl) in kleinen sehr glänzenden hellgelben Krystallen, welche eine, der vorigen ähnliche Eigenthümlichkeit zeigt. In einem Kölbchen über Spiritusfeuer erhitzt werden die Krystalle zuerst dunkelorange, bräunen sich dann, kommen dabei in eine starke Bewegung und hüpfen auf und ab, welche Erscheinung aber umgekehrt als beim vorigen Salze, durch Erwärmung hervorgebracht wird und zur Ruhe kommt, wenn das Salz von der Lampe entfernt worden. Bei dieser Krystallbewegung tritt aber noch keine merkbare Zersetzung ein, die erst bei stärkerer Hitze (in Platin, Chlorzink und Chlor) erfolgt.

4) Erfahrung von Marx an essigsaurem Natron *). Man nehme einen, wo möglich großen, Platinlöffel, fülle ihn nicht ganz bis zum Rande mit dem Salze an, und halte ihn vorsichtig über eine Spirituslampe. Zuerst wird sich das Krystallisationswasser verflüchtigen und die aufgelockerte Masse weiß und trocken werden. Bei fortgesetzter Erhitzung wird auch diese allmählig schmelzen und ruhig fließen. In dem Augenblicke, wo das letzte Salzkörnchen vollständig darin wird zergangen sein, nehme man den Löffel von der Flamme weg, halte ihn ruhig, und beobachte den Verfolg der Erscheinung. Nach wenigen Secunden wird sich die an den Wänden des Löffels adhärirende Flüssigkeit gänzlich von denselben lostrennen, sich zusammenziehen und im Innern ein krystallinisches Gefüge annehmen; sodann wird ihre Oberfläche zu einer eben solchen Haut gestehen; endlich aber werden aus ihrem Innern Krystalle hervorbrechen, welche rasch die Decke durchdringen und mit Blitzesschnelle aufwärts und seitwärts wachsen. Diese Krystalle erhielt Marx öfters von ¼ Zoll Höhe und Breite. Sie sind, wie auch die übrige Masse, vom schönsten Perlmutterglanz und von den schärfsten Facetten begränzt. Doch hält es schwer, die Flächen krystallographisch zu zählen oder zu einer bestimmten Figur zusammen zu ordnen. Die Krystalle, der Luft ausgesetzt, verlieren in Kurzem ihren Glanz und werden matt und staubig. Von Neuem geschmolzen oder auch im Wasser aufgelößt, durch Abdampfen krystallisirt, und wiederum dem Versuche unterworfen, zeigen sie die angegebenen Erscheinungen in einem weit unvollkommneren Grade, wahrscheinlich, weil schon im ersten Versuche, außer dem Wasser, ein Theil der Säure mit ausgetrieben worden.

Erdmann (in Erdm. Journ. II. 397) bemerkt, daß sich, wenn das Hervorschießen der Krystalle schon angefangen habe, dasselbe noch an einem andern Punkte hervorbringen lasse, wenn man die verhärtete Salzdecke mit einem Eisen durchstößt und auf diese Weise der innern flüssigen Masse Luft macht.

*) Schweigg. Journ. LII. 359. LIV. 28.

5) Erfahrung von Zincken an Eisenschlacken *). Zincken führt folgende Erfahrung an, die sich an die vorige anzuschließen scheint: „Ich habe, — sagt er — auf den herzoglich Anhaltischen Eisenwerken unter dem Mägdesprunge, seit etwa sechs Jahren, Spatheisenstein, welcher noch eine bedeutende Menge Kalkspath enthält, mit gerösteten Frischschlacken, zur Roheisenerzeugung für die Frischfeuer, verblasen lassen. Bei dieser Beschickung erzeugen sich schöne Manganoxydulbisilicate, zum Theil als völlig ausgebildetes Rothbraunsteinerz. Wenn bei diesem Hohofenprozesse sich Schlackenknoten im Vorheerde bildeten und noch weich herausgezogen wurden, so habe ich solche öfters noch glühend zerschlagen. Im Momente des Zerschlagens, wenn die Hitze des Schlackenknotens ins Rothwarme überging, dringen nun aus der ganzen Bruchfläche mit einiger Feuererscheinung und großer Schnelligkeit eine Menge Krystalle, worauf die Masse langsam erkaltet. Die Krystalle sind auf diesem Wege nie ganz vollkommen scharf ausgebildet, sondern nur da, wo sie in Höhlungen der Schlacken sich vorfinden. Darin finden sie sich aber vorzüglich schön, wie es mir scheint, von der Krystallisation des Idokrase."

Zincken fügt noch hinzu, dieses merkwürdige, oft von ihm wiederholte, Experiment sei jedoch nicht bei jedem Gange des Ofens geglückt, sondern nur bei einem sehr gaaren und auch nicht bei jeder Beschickung.

6) Erfahrung von Fuchs an phosphorsaurem Blei **). Wenn man ein auf Kohle in vollkommenem Flusse sich befindendes Kügelchen von phosphorsaurem Blei von der Flamme des Löthrohrs entfernt, so bleibt es so lange ruhig, bis es zur dunkeln Rothglühhitze abgekühlt ist; dann wird es mit Blitzesschnelligkeit fast weißglühend, kommt in starke Bewegung, und es schießen daraus sichtbar die Ecken hervor. Dieses Alles ist die Sache eines Augenblicks. Manchmal schien es Fuchs, als würde, während dieses vorgeht, die Asche der Kohle von dem erstarrenden Kügelchen angezogen. Man giebt vor, daß dieses Kügelchen die Form des Granats habe. Fuchs erkannte daran öfters ziemlich deutlich das regelmäßige sechsseitige Prisma mit mehrern concentrisch gestreiften Veränderungsflächen.

7) Erfahrung von Faraday und Wach an kleesaurem Kalk ***). Vollkommen ausgetrockneter kleesaurer Kalk fliegt beim Umrühren mit einem Stäbchen plötzlich aus einander und wird umhergestreut. Hiebei ist mit dem Goldblattelektrometer zugleich deutliche Elektricitätsentwickelung wahrnehmbar.

8) Erfahrungen am geschmolzenen Silber (Spratzen) ****). Das feingebrannte geschmolzene Silber bildet beim Erkalten ästige

*) Erdmann Journ. II. 305.

**) Schweigg. XVIII. 292. LVII. 154.

***) Schweigg. LIV. 26.

****) Vergl. hierüber Karstens Arch. IV. 1821. S. 318. — Schweigg. LIII. 185. 195. LIV. 20. LV. 108. LXI. 515.

Verzweigungen, die von Innen aus der Silbermasse herauszuwachsen scheinen, und welche sich oft mit großer Gewalt über der Oberfläche des Silberkuchens erheben, indem sie sich den Durchgang durch die fast erstarrte Oberfläche bahnen müssen. Diese Erscheinung, welche unter dem Namen des Spratzens des Silbers bekannt ist, tritt nur alsdann ein, wenn die Silbermasse bedeutend genug ist, um nicht inwendig schon erstarrt zu sein, wenn die äußern Flächen erkaltet sind, und wenn das Silber durch das Feinbrennen den gehörigen Grad der Feine erlangt hat. Die letzte Bedingung ist so nothwendig, daß man das noch nicht gehörig feine Silber sogar daran, daß es nicht spratzt, zu erkennen vermag. Das Spratzen erfolgt bei bedeutenden Silbermassen erst eine geraume Zeit, nachdem die Oberfläche des Silberkuchens schon erkaltet zu sein scheint, so daß die schöne glatte Fläche desselben gleich wie durch unterirdische Eruptionen zerrissen wird, wobei sich Silberberge und Verzweigungen aller Art oft zu einer bedeutenden Höhe von vielen Zollen erheben. (Karstens Arch. IV. 1821. 318.)

Wagner (Schweigg. J. LIII. 185) hatte Gelegenheit, bei diesem Spratzen selbst Bildung vollkommener und regelmäßiger Krystalle zu beobachten.

Unter gewissen Umständen vermag auch das Kupfer zu spratzen, und zwar beobachtet man, daß das spratzende Kupfer spröde und zu mehrern Arbeiten unanwendbar ist, während sich das nicht spratzende in hohem Grade schmiedbar zeigt. Dagegen spratzt Silber nicht, wenn ihm nur $1\frac{1}{2}$ bis 2 pr. Ct. Kupfer beigemischt ist.

Die Erscheinungen des Silberspratzens sind vielleicht mit den vorher erwähnten Erscheinungen nicht ganz zusammenzustellen. Denn da es erwiesen ist, daß das Spratzen mit einer namhaften Entwickelung von Sauerstoffgas verbunden ist, welche das Silber im Schmelzen zufolge einer bekannten Eigenschaft desselben absorbirt hatte, so scheinen die Hervortreibungen, welche sich beim Spratzen zeigen, hauptsächlich der Entwickelung dieses Gases beizumessen.

9) Erfahrung von Berzelius an Phosphorsalz mit Chromoxyd *). Berzelius theilt folgende Erfahrung mit, die jedoch vielleicht ebenfalls auf Gasentwickelung beruht: „Vom Phosphorsalze wird das Chromoxyd sowohl in der äußern als innern Flamme mit einer grünen Farbe aufgelöst, die tief ist, wenn des Aufgelösten viel ist. Wenn das Glas mit mehr Chromoxyd gemengt wird, als es auflösen kann, und stark erwärmt wird, so bekommt es die sonderbare Eigenschaft, im Gerinnungsaugenblicke mehr oder minder sich aufzublähen und sich in eine schaumige Masse, durch irgend eine Gasentwickelung, die dann Statt finden muß, zu verwandeln. Wenn das Glas von Neuem geschmolzen wird, so fällt der Schaum zusammen,

*) Berzelius Anwend. des Löthrohrs. 2te Aufl. 20. oder Schweigg. LVII. 195.

aber kommt wieder beim Gerinnen. Dies geschieht sowohl beim Daraufblasen in der innern als äußern Flamme, auf Kohle und auf Platindraht. Ich kann keine Ursache dazu finden. Es geschieht nicht, wenn das Glas klar ist."

10) Erfahrung von Hermann am salzsauren Lithon*). Wenn man Krystalle von salzsaurem Lithon mit den Fingern anfaßt, oder sie auf Filtrirpapier legt, so werden sie augenblicklich an den berührten Stellen und nach und nach in der ganzen Masse undurchsichtig. Berührt man einen solchen undurchsichtig gewordenen Krystall, so zerfällt er zu einem krystallinischen Pulver, wonach die Undurchsichtigkeit des Krystalls durch eine freiwillige Zertheilung desselben entstand.

11) Erfahrung von Mitscherlich an verschiedenen Salzen **). Im Allgemeinen, oder wenigstens vielen bis jetzt bekannten Fällen zufolge, bemerkt man, daß wenn ein Salz bei einer gewissen Temperatur mit einer gewissen Krystallgestalt angeschossen ist, es aber nachher einer höhern Temperatur ausgesetzt wird, bei der es mit einer andern Krystallgestalt angeschossen sein würde, es sich in ein Aggregat von Krystallen dieser letztern Form verwandelt, ohne daß vorher ein flüssiger Zustand eingetreten ist, was, wie es scheint, nur von einer Verschiebbarkeit der Theilchen in festem Zustande abhängen kann; so bei schwefelsaurer Magnesia, schwefelsaurem Nickel, honigsteinsaurem Ammoniack, schwefelsaurem Zink, schwefelsaurem Eisenoxydul, selensaurem Zink, wasserhaltigem Kochsalz. — Diese Formveränderung kann ohne bemerkliche Veränderung der Mischung erfolgen (so beim schwefelsauren Zink), oder auch unter Wasserverlust (so beim schwefelsauren Eisenoxydul).

Über Formveränderungen der Krystallisation ohne Durchgang durch einen flüssigen Zustand, die durch anderweite chemische Veränderungen hervorgebracht werden, und die im Mineralreich nicht selten vorkommen, hat Haidinger eine sehr gehaltreiche und wichtige Abhandlung geliefert in Pogg. Ann. XI. 173. 366 oder Schweigg. J. LIV. 258.

12) Erfahrung von Lampadius an Platin und Nickel ***). Wenn Nickel und Platin, beide im Porzellanofenfeuer unschmelzbar, neben einander erhitzt werden, so springen sie, sobald sie zu erweichen anfangen, auf eine merkwürdige Weise schnell in einander über, und stellen dann ein Metallgemisch von der Schmelzbarkeit des Kupfers dar.

13) Erfahrung von Lampadius an Quecksilber und Natrium ****). In einen flachen Achatmörser wurden 3 Drachmen Quecksilber gebracht und auf dasselbe eine durch Zusammendrücken einer Natriumkugel erhaltene Scheibe von ungefähr ½ Linie Dicke und 6 Gran Gewicht

*) Pogg. XV. 481.
**) Pogg. XII. 146. u. a. a. O.
***) Schweigg. J. X. 175.
****) Karstens Arch. XVI. 102.

gelegt. Als nun die Natriumscheibe etwas stark, aber wenig reibend, in das Quecksilber eingedrückt wurde, vereinigte sich nach ungefähr einer Minute das Natrium plötzlich mit einem zischenden Geräusch mit dem Quecksilber, wodurch eine feste Scheibe von Natriumquecksilber entstand, welche noch nach einigen Minuten bedeutend heiß war, und in dem Achatmörser hatte sich ein freier Anflug von Quecksilber als Rand um das feste Amalgama angelegt. Als bei einer Wiederholung des Versuches gleich nach Erscheinung der Verbindung ein kleines Thermometer an das Metall gebracht ward, stieg dasselbe schnell zum Siedpunkte und mußte augenblicklich entfernt werden.

## Über den Grundzustand der Körper von Poisson *).

In einer Abhandlung über das Gleichgewicht und die Bewegung fester elastischer und flüssiger Körper (die in Cah. XX. des Journ. de l'école polyt. erscheinen wird), legt Poisson folgende Vorstellungen über den Grundzustand der Körper unter, deren Mittheilung dazu wird dienen können, den Standpunkt, den die atomistische Ansicht, zu deren vornehmsten Repräsentanten Poisson zu zählen ist, einnimmt, zu bezeichnen. Im Wesentlichen stimmen diese Vorstellungen immer noch mit denen überein, welche von Laplace aufgestellt worden sind.

1) Die Körper bestehen aus gesonderten Theilchen (molécules), d. h. aus Theilen wägbarer Materie von unmerklicher Größe, welche durch leere Räume oder Poren von einander geschieden sind, deren Dimensionen für unsere Sinne ebenfalls unmerklich sind.

2) Diese Theilchen sind so klein und einander so nahe, daß ein Theil des Körpers, welcher deren eine unendliche Menge enthält, doch noch als außerordentlich klein und die Größe seines Volumens als unmerklich angesehen werden kann.

3) Abgesehen von der wägbaren Materie, aus welcher jedes Theilchen besteht, gehört zu demselben noch überdies eine gewisse Quantität unwägbarer, durch Anziehung zur wägbaren Materie mehr oder minder stark zurückgehaltener, Materie, welche wir als Wärmestoff bezeichnen. Auch kann magnetische und electrische Materie zwischen oder an den wägbaren Theilchen vorhanden sein, von deren Wirkung sich aber im neutralen Zustande der Körper abstrahiren läßt.

4) Die Quantität Wärmestoff, welche im leeren Raume zwischen den Theilchen vorhanden ist, ist unmerklich in Verhältniß zu der, welche an den wägbaren Theilchen selbst haftet (s'attache); denn, zufolge eines Versuchs von Gay-Lussac, wenn man einen leeren Raum plötzlich vergrößert oder verkleinert, so sieht man keine Wärmeänderung weder in diesem Raume, noch den umgebenden Körpern, eintreten, entgegen dem, was geschieht, wenn derselbe Raum ein wenig Luft oder anderes Gas enthält.

*) Nach den Ann. de Ch. et de Ph. XLII. 145.

Dieses Umstandes zufolge müssen alle Wirkungen, welche der Wärmestoff etwa äußert, als von den materiellen Theilchen selbst, nicht aber von den Zwischenräumen zwischen ihnen, ausgehend gedacht werden.

5) Die wägbaren Theilchen der Körper äußern eine gegenseitige Anziehung nicht nur zu einander, sondern auch zur unwägbaren Materie des Wärmestoffs; dagegen äußern die Quantitäten Wärmestoff, welche den Theilchen anhaften, eine wechselseitige Abstoßung auf einander. Den wägbaren Theilen der Körper kommen mithin bloß anziehende Kräfte zu, den unwägbaren Theilen der Wärme dagegen zwar anziehende Kräfte zur wägbaren Materie, aber abstoßende Kräfte unter sich; die Gesammtwirkung zweier Theilchen auf einander ist die Resultante (im Fall sie sich auf eine einzige zurückführen läßt) dieser sämmtlichen Anziehungen und Abstoßungen, welche einerseits von ihrer eigenen Materie, andererseits von dem ihnen anhängenden Wärmestoffe geäußert werden.

6) Sowohl diese anziehenden als abstoßenden Kräfte nehmen so schnell mit der Entfernung der Theichen von einander ab, daß sie für jede merkliche Entfernung derselben unmerklich werden. Doch beginnt diese schnelle Abnahme erst, wenn die Entfernung schon ein sehr großes Multiplum von dem gegenseitigen Abstande zweier successiven Theilchen geworben ist, so daß die Wirkungssphäre jedes Theilchens, wiewohl an sich unmerklich klein, doch eine unzählige Menge anderer Theilchen befaßt *).

*) Ein, in einer frühern Abhandlung von Poisson (Mém. de l'Acad. T. VIII. p. 369.) gegebener Ausdruck für die Molecularkraft, welcher den aufgestellten Voraussetzungen genügt, würde z. B. folgender sein:

$$a b^{-\left(\frac{r}{n\alpha}\right)^m}$$

wo r den variabeln Abstand der Theilchen bedeutet, a eine beliebige Constante, b eine andere Constante, welche größer als die Einheit ist, m einen sehr großen positiven Exponenten, $\alpha$ das zwischen zwei consecutiven Theilchen begriffene sehr kleine Intervall, n eine sehr große ganze Zahl, die jedoch so beschaffen ist, daß $n\alpha$ eine Linie von unmerklicher Größe. Diese Function wird ziemlich constant sein, so lange r nicht ein sehr beträchtliches Multiplum von $\alpha$ ist, so bald man aber $r > n\alpha$ hat, wird diese Function sehr schnell abnehmen und bald ganz unmerklich sein.

Ungeachtet übrigens Poisson den obigen Ausdruck nicht sowohl für die anziehende Molecularkraft für sich, oder die abstoßende Kraft für sich, sondern zur Repräsentation der Resultante beider aufgestellt zu haben scheint, wenn man sich unmittelbar an seine Worte halten will (Mém. de l'Acad. T. VIII. p. 369.), so geht doch aus dem ganzen Verfolg seiner Analyse hervor, daß dieses nur aus Unachtsamkeit geschehen sein kann, und daß er sich diese Resultante f (r) vielmehr als die Differenz zweier Functionen von dieser Form, deren eine die anziehende Kraft der Theilchen, die andere die abstoßende der Wärme ausdrückt, vorstellt. In der That vermag eine Function obiger Form nicht das Zeichen mit Veränderung der Größe von r zu wechseln, welches doch zum Bestande eines Körpers im natürlichen Zustande erforderlich ist, und auch (Ann. de Ch. et de Ph. XLII. 152.) von Poisson selbst ausdrücklich als eine von ihm gemachte Supposition ausgesprochen wird. Eben so wenig würde die, von Poisson aufgestellte, Bedin-

7) Die Abnahme der Anziehungskräfte mit der Entfernung befolgt nicht dasselbe Gesetz, als die Abnahme der Abstoßungskräfte, so daß bei einer gewissen Entfernung zweier Theilchen die Anziehung derselben zu einander, bei einer andern die Abstoßung derselben zu einander das Übergewicht haben, und in einer gewissen mittlern Entfernung die Anziehung der Abstoßung das Gleichgewicht halten kann.

8) Der flüssige Zustand unterscheidet sich von dem festen Zustande darin, daß in ersterem die Theilchen in Verhältniß zu ihren Dimensionen so weit von einander entfernt sind, daß sich in Bezug auf die Wirkung, die sie auf einander äußern, ihre ganze Masse so wie die dazu gehörenden Quantitäten Wärmestoffs als von ihrem Schwerpunkte aus wirkend ansehen läßt und die Gestaltung der Theilchen dabei ohne Einfluß ist; dagegen in den festen Körpern die Theilchen einander hinreichend genähert sind, daß die Wirkung ihrer einzelnen Punkte auf einander in Betracht gezogen werden muß, daß mithin ihre Wirkung auf einander eine verschiedene wird, je nachdem sie sich diese oder jene Flächen zukehren, auch wenn der Abstand ihrer Schwerpunkte dabei ungeändert bleibt *).

9) In den festen und tropfbar flüssigen Körpern haben bei kleinerer Entfernung der Theilchen die abstoßenden Kräfte über die anziehenden das Übergewicht und bei größerer gewinnen die anziehenden Kräfte über die abstoßenden das Übergewicht, so daß die gegenseitige Anziehung zweier Theilchen noch in Entfernungen merklich sein kann, wo ihre, von der Wärme abhängige, Abstoßungswirkung schon ganz unmerklich ist. In der atmosphärischen Luft und wahrscheinlich allen Gasarten hingegen hat die Anziehung erst über die Abstoßung das Übergewicht, um dann schneller als letztere abzunehmen und in Entfernungen unmerklich zu werden, in welchen die Abstoßung noch merklich ist.

Zusatz. Cauchy legt über den Unterschied der festen, tropfbar flüssigen und gasförmigen Körper folgende Vorstellung zu Grunde (Bulletin des sc. math. XI. 413. XII. 224). Die Molecularwirkungen in den Körpern überhaupt gehen hervor 1) aus der Wirkung der materiellen Theilchen (den von ihnen gebundenen Wärmestoff hinzugerechnet) auf einander, 2) aus der Wirkung der Theilchen des freien Wärmestoffes auf einander,

gung für den natürlichen Zustand der Körper (Mém. de l'Acad. T. VIII. p. 398.), daß für jeden Punkt m des Körpers $\Sigma r^3 f(r) = 0$ sei (wo sich das Summirungszeichen auf die Abstände r aller andern Theilchen vom Punkte m bezieht), unter der Voraussetzung erfüllt werden können, daß f (r) blos durch einen einfachen Exponentialausdruck der obigen Form gegeben sei. Nachzuweisen wäre freilich auch noch, was von Poisson nicht geschehen ist, daß es möglich sei, diese Bedingung zu erfüllen, wenn man für f (r) eine Differenz zweier solcher Exponentialgrößen setzt.

*) Bekanntlich hat schon Laplace diese Vorstellung über den Unterschied des flüssigen vom festen Aggregatzustande aufgestellt; aber weder Laplace noch Poisson haben den Einwurf erörtert, wie mit dieser Vorstellung der Umstand vereinbar sei, daß manche Körper ausgedehnter im festen als im tropfbaren Zustande sind.

3) aus der Wirkung der materiellen Theilchen auf die freien Wärmetheilchen. (Dies ist so weit in übereinstimmung mit Poisson.) In den gasförmigen Körpern nun findet ein solches Verhältniß Statt, daß die erste Wirkung ganz vernachlässigt werden kann, d. h. daß die Wirkung der nähern wie der entferntern materiellen Theilchen, welche um ein beliebiges Theilchen m der Gasmasse herum liegen, auf dieses Theilchen verschwindet, und blos die Wirkung des freien Wärmestoffs darauf merklich ist; in den tropfbaren Flüssigkeiten verschwindet die Wirkung der dem Theilchen m zunächst liegenden materiellen Theilchen gegen die Wirkung der etwas entfernteren, doch noch immer sehr nahe liegenden Theilchen, so daß man von der Wirkung der nächsten Theilchen abstrahiren oder es so ansehen kann, als befinde sich das Theilchen m in der Mitte einer Hohlkugel (oder vielmehr einer, zwischen zwei sphärischen Oberflächen von sehr kleinem Radius enthaltenen, Schicht); in den festen Körpern endlich wird auch die Wirkung der das Theilchen m zunächst umgebenden Theilchen auf dasselbe merklich.

Die Vorstellung, die Cauchy für die tropfbaren Körper zu Grunde legt, daß nämlich bei ihnen die Wirkung der nähern Theilchen gegen die der etwas entferntern verschwinden soll, ist allerdings für den ersten Anblick nicht sehr wahrscheinlich, indessen lassen sich Functionen angeben, welche diese Voraussetzung repräsentiren würden, z. B. folgende:

$$k r e^{-r m^2}$$

wo k und e Constanten (letztere größer als die Einheit) sind, r den Abstand zweier beliebigen Theilchen bedeutet, m eine sehr große Zahl. In der That verschwindet diese Function sowohl für $r = o$ als $r = \infty$ und wird für $r = \frac{1}{m^2}$ zu einem Maximum. Auch muß man in Betracht ziehen, daß die Wirkung der Theilchen auf einander, von welcher hier die Rede ist, nicht eine einfache Molecularwirkung ist, sondern zusammengesetzt aus der Wirkung der materiellen Theilchen und ihres gebundenen Wärmestoffs, und da in flüssigen Körpern die Theilchen ein größeres Verhältniß gebundenen Wärmestoffs besitzen, als in festen, so würde sich hieraus wenigstens absehen lassen, wie bei Veränderung des Aggregationszustandes die Function, welche die resultirende Molecularkraft ausdrückt, sich ändern kann.

Übrigens führen diese Vorstellungen Cauchy's zu sehr wichtigen Folgerungen in Bezug auf die mathematische Behandlung der Probleme des Gleichgewichts und der Bewegung fester und flüssiger Körper. Ihre Triftigkeit nämlich vorausgesetzt, können die, von der Vertheilungsart der Theilchen um jeden Punkt abhängigen, Coefficienten, welche in die Gleichungen des Gleichgewichts und der Bewegung eingehen, bei tropfbaren und elastischen Flüssigkeiten durch Summen ausgedrückt werden, welche sich auf einfache Integrale wirklicher Differenzialausdrücke reduciren lassen,

dagegen man bei den festen Körpern bei dreifachen Summen endlicher Differenzen stehen bleiben muß, die keine solche Reduction gestatten.

Letzteres hat auch schon Poisson bemerkt (Mém. de l'Acad. VIII. 365); nach seinen Suppositionen jedoch würde eine solche Reduction überhaupt bei allen Körpern mit discontinuirlichen Theilchen unzulässig sein.

## Ungleiche Eigenschaften von Körpern bei gleicher chemischer Zusammensetzung.

Man hat, insbesondere neuerdings, in der Chemie mehrere bemerkenswerthe Erfahrungen gemacht, welche zeigen, daß Stoffe bei gleicher chemischer Zusammensetzung doch verschiedene Eigenschaften besitzen können, ein Umstand, den man sich nicht wohl anders zu erklären weiß, als durch die Annahme, daß diese Bestandtheile in ihnen anders angeordnet oder verdichtet sind. Solche Stoffe nennt man nach Berzelius Bezeichnung isomerische *). Ich will, da dieser Gegenstand in Bezug auf den Grundzustand der Körper auch von physikalischem Interesse ist, die bis jetzt bekannten Beispiele darüber zusammenstellen **).

1) Kohlenwasserstoff. Es giebt 4 Materien gleicher Zusammensetzung, welche sämmtlich aus 4 At. Wasserstoff gegen 2 At. Kohlenstoff ***) bestehen, deren aber bei gewöhnlicher Temperatur zwei gasförmig, eine tropfbar, eine fest ist.

a) Ölbildendes Gas. Man erhält es durch Zersetzung von Alkohol mittelst conc. Schwefelsäure in der Hitze. Es besteht aus 4 Volumen Wasserstoff und 2 Volumen Kohlenstoff, die sich zu 2 Volumen verdichtet haben.

b) Kohlenwasserstoff Faraday's. Gehört zu den Producten der Liquefaction von Ölgas durch Compression in den Gordonschen tragbaren Gaslampen. Ist bei — 18° C. tropfbar, aber noch unter 0° C. dampfförmig. Der Dampf hat die doppelte Dichtigkeit des vorigen, indem darin 4 Volumina Wasserstoff und 2 Volumina Kohlenstoff zu einem einzigen Volumen verdichtet sind. (Schweigg. XLVII. 443.)

c) Schwefelsäurefreies Weinöl. Erzeugt sich bei der gewöhnlichen Art, den Äther zu bereiten. Ist bei gewöhnlicher Temperatur tropf-

*) Vergl. Pogg. XIX. 326. Eigentlich gehört zum Begriff der isomerischen Körper nach Berzelius Bezeichnung noch der Umstand, daß sie auch gleiches Atomgewicht besitzen, welcher z. B. bei den verschiedenen Kohlenwasserstoffverbindungen nicht Statt findet. Ich habe jedoch eine Unterscheidung der Stoffe in diesem Bezuge hier nicht vornehmen wollen.

**) Zwischen dem Harnstoff und dem wasserhaltigen cyans. Ammoniak sind meines Wissens keine Unterschiede wahrgenommen worden, daher dieselben vielmehr identische als isomerische Körper zu sein scheinen. Sie werden deshalb von mir hier nicht aufgeführt. Vergl. übrigens darüber Pogg. XII. 253.

***) Bei den Atombestimmungen sind Berzeliussche Verhältnisse zu Grunde gelegt.

bar, von 0,921 spec. Gewicht, siedet bei 280° C., ist bei — 35° C. fest u. s. w.

d) Krystallinische Materie des Weinöls. Das Weinöl enthält eine krystallinische Materie in Suspension, die, davon abgesondert, von 0,980 spec. Gewicht ist, bei 110° C. schmilzt, sich bei 260° C. verflüchtigt u. s. f. (Fechner's Rep. der N. Entd. der org. Ch. I. 352.)

2) Weinsäure und Traubensäure. Die Traubensäure kommt mit der Weinsäure oder Weinsteinsäure zugleich im Traubensafte vor. Sie besitzt (im wasserfreien Zustande) mit ihr die gleiche Zusammensetzung aus 4 At. Wasserstoff, 4 At. Kohlenstoff, 5 At. Sauerstoff; unterscheidet sich aber von ihr hauptsächlich durch folgende Merkmale: Sie hat eine andere Krystallform als die Weinsäure. Sie, so wie ihr Kalksalz, sind schwerer in Wasser löslich, als die Weinsäure und der weinsaure Kalk. Die Traubensäure verwittert in der Wärme, die Weinsäure nicht. Die Traubensäure giebt nicht wie die Weinsäure ein regelmäßig krystallisirtes Doppelsalz mit Kali und Natron u. s. w. (Pogg. XIX. 319; Pharm. Centralbl. II. Nr. 11. S. 170.)

3) Knallsaures Silber und cyansaures Silber. Das knallsaure Silber entsteht durch Einwirkung von Salpetersäure auf Silber unter Mitwirkung von Alkohol, das cyansaure Silber durch Vermischen der Auflösung von cyansaurem Kali (das durch Verpuffen von Salpeter mit Blutkohle entsteht) mit der Auflösung von salpetersaurem Silber. Beide sind aus 1 At. Silber, 2 At. Sauerstoff, 2 At. Stickstoff, 2 At. Kohlenstoff zusammengesetzt; unterscheiden sich aber hauptsächlich dadurch, daß das cyansaure Silber, für sich erhitzt, nicht explodirt, sondern nur zischend verbrennt, während das knallsaure Silber hiebei eine heftige Detonation bewirkt und daß bei Zersetzung des cyansauren Silbers durch eine Säure (bei Gegenwart von Wasser) Kohlensäure und Ammoniak, bei Zersetzung des knallsauren Silbers aber Blausäure und Ammoniak davon geht. (Vergl. u. a. Schweigg. LXI. 503.)

4) Lösliche wasserfreie Cyanursäure, unlösliche wasserfreie Cyanursäure, wasserhaltige Cyansäure. Diese drei isomerischen Verbindungen bestehen sämmtlich aus gleich viel Atomen von Stickstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff. Sie sind eines Übergangs in einander fähig. Über das Nähere vergl. Pogg. Ann. XX. S. 369, oder Schweigg. J. LXII. 173.

5) Phosphorsäure und Pyrophosphorsäure. Die, auf gewöhnliche Weise erhaltene, ungeglühte Phosphorsäure oder die zwar geglühte, aber längere Zeit an der Luft gelegene, oder einige Tage in Wasser aufgelöst gewesene unterscheidet sich von der frisch geglühten, oder der, welche durch Verbrennen von Phosphor in Sauerstoffgas oder atmosphärischer Luft erhalten wird, und die man jetzt Pyrophosphorsäure nennt, bei gleicher Zusammensetzung aus 2 At. Phosphor und 5 At. Sauerstoff, doch unter andern in folgenden Eigenschaften: die Phosphor-

säure fällt das Eiweiß, die Pyrophosphorsäure fällt es nicht. Die Verbindung der Phosphorsäure mit Natron fällt das salpetersaure Silber gelb, die der Pyrophosphorsäure weiß, welche Niederschläge auch sonst noch als in der Farbe sich unterscheiden u. s. w. Übrigens lassen sich Phosphorsäure in Pyrophosphorsäure oder phosphorsaure Salze in pyrophosphorsaure Salze und umgekehrt umwandeln, je nachdem man die einen glüht oder die andern längere Zeit mit Wasser oder gewissen Säuren in Berührung läßt oder auch kocht. (Die Verschiedenheit in Sättigungscapacität der Phosphorsäure von der Pyrophosphorsäure, welche Stromeyer angeführt hat, scheint sich nach andern nicht zu bestätigen.) *)

6) Zinnoxyd; — Zinnchlorid; — Titansäure u. e. a. Körper. — Das Zinnoxyd hat verschiedene Eigenschaften, je nachdem es durch Salpetersäure bereitet oder durch Fällen aus Libavschem Geiste erhalten wird. Im ersten Falle ist es unauflöslich in Säuren, im zweiten mehr oder weniger darin löslich. — Das Zinnchlorid unterscheidet sich ebenfalls in seinen Eigenschaften, je nachdem man es durch Behandlung der einen oder andern isomerischen Modification des Zinnoxyds erhält. (Berzelius Lehrb. II. S. 272.)

Einen analogen Unterschied als das Zinnoxyd in den Eigenschaften zeigen auch Titansäure, Zirkonerde, Thonerde, Thorerde u. e. a., indem man sie durch Glühen ihrer Auflöslichkeit berauben kann.

7) Das Cyan soll nach Johnston's Versuchen, die jedoch nicht hinreichende Zuverlässigkeit zu besitzen scheinen, ebenfalls in zwei isomerischen Modificationen erhalten werden können, wovon die eine das Cyangas ist, und die andere eine starre schwarze wie Kohle aussehende Masse, welche bei Zersetzung des Cyanquecksilbers im Destillationsgefäße zurückbleibt. (Schweigg. J. LVI. 341.)

Es verdient Erwähnung, daß der Übergang einer isomerischen Modification in die andere, wenn sie durch Hitze bewirkt wird, öfters durch ein bemerkenswerthes Phänomen bezeichnet wird. So bemerkt man bei der Zirkonerde, mitunter auch bei der phosphorsauren Ammoniak-Magnesia, wenn sie stark geglüht werden, in einem gewissen Zeitpunkte eine Ignitionserscheinung, wonach der Übergang in die andere isomerische Modification erfolgt ist. Übrigens zeigt sich eine ähnliche Ignitionserscheinung auch in einem gewissen Zeitpunkte bei verschiedenen antimonsauren Salzen, bei Chromoxyd, Eisenoxyd u. m. a.

Es läßt sich die Frage aufwerfen, ob es nicht auch für die einfachen Stoffe einen ähnlichen doppelten Zustand giebt, als wir hier bei verschiedenen zusammengesetzten Körpern nachgewiesen haben. Es mag genug sein, in diesem Bezuge folgende Bemerkung von Berzelius (Pogg. XIX. 329) mitzutheilen.

*) Vergl. eine Zusammenstellung über das Verhältniß der Phosphorsäure und Pyrophosphorsäure im pharm. Centralbl. I. Nr. 3. S. 36. Nr. 18. S. 287. II. Nr. 19. S. 300. — Pogg. XIX. 331.

„Wenn diese Idee, von einer Seite betrachtet, auch keine große Wahrscheinlichkeit hat, so kann man doch auf der andern Seite als Grund zu dieser Frage anführen: den verschiedenen Zustand der Kohle im Diamant und im Graphit; die Verschiedenheit des Platins, je nachdem es auf nassem Wege aus seinen Salzen durch Alkohol reducirt oder durch Glühen des Platinsalmiaks erhalten worden ist; die Verschiedenartigkeit mehrerer Metalle, z. B. des Eisens, je nachdem sie bei einer niederen oder einer höheren Temperatur durch Wasserstoffgas reducirt worden sind; der ungleiche Zustand des Titans und Tantals, wenn sie durch Kalium reducirt und durch Wasser von diesem befreit worden sind, oder wenn man sie in höherer Temperatur durch Kohle reducirt hat; die ungleiche Brennbarkeit und Löslichkeit in Fluorwasserstoffsäure des Siliciums vor und nach dem Glühen u. s. w. Wenn einerseits zugegeben werden muß, daß diese Verschiedenartigkeiten durch eine ungleiche Aggregation der kleinsten Körpertheilchen leicht zu erklären sind, so muß man doch auch andererseits bedenken, daß die Atome der einfachen Körper sich möglicherweise unter verschiedenen Umständen auf mehr als eine Weise zu regelmäßigen Gestalten zusammenlegen können, und daß eine Zusammenlegung auf diese oder jene Weise ein verschiedenes Verhalten zum Licht und eine verschiedene Neigung zur Verbindung mit anderen Körpern hervorbringen kann. — Aber dies heißt fast zu viel vermuthen."

---

## III. Eigenschaften der Körper, welche von ihrem Aggregatzustande abhängig sind, als: Festigkeit, Ductilität, Tenacität, Elasticität, Härte.

---

### Festigkeit.

Einfluß geringer Beimischungen auf die Festigkeit des Eisens, von Karsten *). Die Resultate der Versuche des Verfassers sind in Kurzem folgende: Phosphor vermindert bekanntlich die Festigkeit des Eisens, allein 0,3 p. C. sind in dieser Rücksicht kaum merklich; sobald aber 1 p. C. im Stabeisen enthalten ist, läßt es sich nicht mehr bis zu einem rechten Winkel biegen ohne zu brechen. Schwefel macht das Eisen rothbrüchig, sobald es nur $\frac{1}{10000}$ des Eisens beträgt; macht es $\frac{34}{100000}$ des Eisens aus, so büßt dasselbe seine Festigkeit und Schweißbarkeit fast gänzlich ein. Durch Zusatz von 1 p. C. Arsenikglas wurde der Frischprozeß des Eisens ungemein verzögert und es schien kaltbrüchig zu werden. Wismuth änderte die Festigkeit des Eisens nicht, sobald es

*) Abhandl. der Königl. Akad. der Wissensch. zu Berlin aus d. J. 1826, erschienen 1829.

nicht mehr als $\frac{81}{100000}$ desselben betrug. Von Zinn nahm das Eisen 0,19 p. C. auf, hatte an Festigkeit bedeutend verloren und war kaltbrüchig geworden. Eine Verbindung von 34 Theilen Silber mit 100000 Eisen machte dasselbe rothbrüchig. Antimon macht das Eisen im höchsten Grade kaltbrüchig. Mangan hingegen ändert das Eisen, wenigstens bis zu einem Zusatz von 1,85 p. C. fast gar nicht, eben so wenig Silicium und Aluminium. Zusätze von Calcium (wobei der Verf. carrarischen Marmor gebrauchte) schienen sogar die Festigkeit des Eisens erhöht zu haben; es zeigte sich aber bei der Untersuchung, daß das Eisen nicht nur kein Calcium aufgenommen hatte, sondern im Gegentheile der Phosphorgehalt des Eisens noch vermindert worden war. Dasselbe fand bei der Mischung mit Kalium und Natrium Statt *). Da nun unter allen diesen genannten Körpern kein einziger ist, von welchem man sagen könnte, daß er die Festigkeit des Eisens vergrößere, selbst wenn er dem Eisen nur im Minimum beigemischt ist, so erscheint es um so merkwürdiger, daß die Kohle, welche im Maximo ihrer Verbindung mit Eisen die Festigkeit desselben wenigstens um $\frac{3}{4}$ vermindert, dem Eisen wirklich eine größere Festigkeit zu ertheilen scheint, wenn der Kohlengehalt nicht viel über $\frac{1}{2}$ p. C. beträgt. Der Verf. vermuthet indeß, dieser scheinbare Erfolg sei nur der, durch den Kohlengehalt verminderten, Dehnbarkeit und Geschmeidigkeit des Eisens zuzuschreiben, indem alle Versuche zur Ausmittelung der Festigkeit der Körper nur auf solche Weise angestellt werden können, daß der Körper dabei ausgedehnt oder zusammengedrückt wird, welchem Umstande es auch zuzuschreiben sei, daß die relative Festigkeit des Roheisens in einem sehr hohen Grade größer ist, als die relative Festigkeit des Stahls, des grauen Roheisens und des Stabeisens, obgleich das weiße Roheisen von allen Eisenarten die geringste absolute Festigkeit besitzt **).

## Ductilität, Tenacität.

Ductilität des Blei's ***). Durch Versuche, bei welchen Coriolis den Grad maß, in welchem Bleicylinder (von 24 Mill. Durchmesser und 19 Mill. Höhe) durch starke, gleich lange einwirkende und ohne in Betracht kommenden Stoß herabgelassene, Gewichte (von 1500 bis über 3000 Kil.) plattgedrückt zu werden vermögen, hat derselbe gefunden, daß die Art der Schmelzung des Blei's auf seine Ductilität von bedeutendem Einfluß ist. Je öfter dasselbe Blei bei Luftzutritt umgeschmolzen worden ist, um so mehr nimmt seine Ductilität, oder Fähigkeit, sich platt drücken

*) Auch Blei und Zink gingen keine Verbindung mit dem Eisen ein. Kupfer verminderte die Festigkeit nur wenig; sonderbar aber ist, daß ein Zusatz von $\frac{1}{4}$ p. C. dieses Metalls die Auflöslichkeit der Mischung in Säuren so vermindert, daß dieselbe 6 mal mehr Zeit erforderte, als reines Stabeisen.

**) Vergl. auch über die Haltbarkeit des Eisens, in so fern es zur Fabrication des Geschützes dienen soll, eine Abhandlung von Meyer in Erdmann's J. X. und XI.

***) Ann. de Ch. et de Ph. XLIV. 103.

zu lassen, ab, vermöge eines geringen Oxydgehalts, den es hierdurch erlangt, und zwar selbst dann, wenn bei jedesmaligem Umschmelzen häufig desoxydirende Substanzen, wie Talg und Harz, auf die Oberfläche des Metalls gebracht werden. Dagegen, wenn man Blei unter einer starken Decke feinen Kohlenpulvers in Tiegeln schmilzt, von deren Boden aus es durch Hähne abgelassen werden kann, so daß nichts von der Oberfläche in den Guß kommt und die Luft beim Gießen stets abgehalten bleibt, so verändert ein solches auch wiederholtes Umschmelzen die Ductilität des Bleies nicht; auch ist in diesem Falle die Temperatur der Schmelzung ohne Einfluß darauf. Ferner hat Coriolis gefunden, daß das Maximum der Plattdrückung durch ein gegebenes Gewicht ziemlich spät erst erreicht wird. So hatte sich unter einer Belastung von 1760 Kilogr. die anfänglich durch 680 Theile (jeder zu $\frac{1}{30}$ Millim.) ausgedrückte Dicke eines Cylinders von Blei, das unter Kohlenbedeckung geschmolzen worden, binnen 1 Minute auf 317 Theile, binnen 1 Stunde auf 245 Theile, binnen 24 Stunden auf 223 Theile reducirt.

Dehnbarkeit der Haare *). Nach Weber lassen sich menschliche Haare, ohne zu zerreißen, um $\frac{1}{3}$ ihrer Länge ausdehnen und werden dabei dünner. Bei Nachlaß der ausdehnenden Kraft zieht sich das Haar zusammen, ohne jedoch seine ursprüngliche Länge völlig wieder zu erhalten. Ein Menschenhaar, das um $\frac{1}{4}$ seiner Länge ausgedehnt worden, blieb um $\frac{1}{10}$, und als es um $\frac{1}{3}$ ausgedehnt worden, nahe um $\frac{1}{6}$ seiner ursprünglichen Länge verlängert.

Tenacität (Cohäsion) verschiedener Metalle. Wollaston **) fand die mittlere Zähigkeit zweier feinen Platindrähte, deren einer $\frac{1}{3000}$, der andere $\frac{1}{3850}$ Zoll im Durchmesser hielt, bestimmt durch die zum Zerreißen erforderlichen Gewichte, und reducirt auf einen Normaldurchmesser von $\frac{1}{10}$ Zoll = 409 (englische) Pfund; die mittlere Zähigkeit von 11 Drähten, deren dickster $\frac{1}{3500}$ und deren dünnster $\frac{1}{25000}$ Zoll im Durchmesser hält, reducirt auf den vorigen Normaldurchmesser, = 589 Pfund; das Maximum unter diesen 11 Fällen war 645 Pfund, das Minimum 480 Pfund. Sehr entfernte sich jedoch hiervon ein gröberer Draht von $\frac{1}{1500}$ Zoll, der 290 Pfund, und ein feinerer Draht von $\frac{1}{30000}$ Zoll, der 190 Pfund erforderte.

Navier ***) fand für 1 Quadrat-Millimeter Querschnitt folgende Gewichte, welche das Zerreißen bestimmten.

Bei:

Eisenblech, wenn das Gewicht nach der Richtung, nach der das Blech gestreckt ist, wirkt ****) . . . . . 41 Kil.

*) Pogg. XX. 2.

**) Pogg. XVI. 166.

***) Mém. de l'Acad. T. IX. p. xiii. (Auszug aus einer, von Navier vorgelesenen, Abhandlung.)

****) Tôle de fer tirée dans le sens du laminage.

| | |
|---|---|
| Desgleichen, wenn das Gewicht senkrecht auf diese Richtung wirkt . . . . . . . . . . . . . . . . | 36,4 Kil. |
| Kupferblech . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 21,1 |
| Laminirtes Blei . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1,35 |
| Röhren und solide Stäbe von gewöhnlichem und Krystallglas . . . . . . . . . . . . . . . . . | 2,18 |

Das Eisen fängt an sich merklich zu verlängern und in seiner Festigkeit zu leiden, wenn die Belastung wenigstens $\frac{2}{3}$ derjenigen beträgt, welche das Zerreißen bewirkt. Derselbe Erfolg hat beim Kupfer Statt, wenn die Belastung die Hälfte von der beträgt, wodurch das Zerreißen bewirkt wird, und beim Blei durch eine Belastung, die etwas über diese Hälfte beträgt. Das Eisen verlängert sich manchmal um $\frac{1}{10}$ seiner ursprünglichen Länge, bevor es zerreißt, und das Kupfer um $\frac{2}{3}$ dieser Länge, wobei die Querdimensionen entsprechend abnehmen. Das Blei, nachdem es sich ungefähr um $\frac{1}{10}$ verlängert hat, zieht sich unter der letzten Belastung, welche das Zerreißen bewirkt, langsam in die Länge (s'étire lentement).

Man kann nach Navier von den hier angegebenen Bestimmungen eine Anwendung machen, um zu bestimmen, welchen Widerstand Gefäße, die aus den angegebenen Substanzen bestehen, dem Zerplatzen entgegensetzen, wenn Dämpfe oder sonstige, mit großer Expansivkraft begabte, Stoffe darin eingeschlossen sind; denn wiewohl sich nicht a priori annehmen lassen würde, daß man die Resultate, die für einen, bloß in longitudinaler Richtung wirkenden Zug, gefunden wurden, auf Druckkräfte, durch welche eine Gefäßwand nach mehrern Richtungen zugleich gedehnt wird, übertragen darf, so wurde doch durch einen directen Versuch die Gültigkeit dieser Übertragung erwiesen.

Es wurden nämlich zwei sphärische Gefäße von ungefähr 0,30 Meter Durchmesser gegen $2\frac{1}{2}$ *) Millimeter Dicke durch innere Druckkräfte von mehr als 160 Atmosphären zum Zerreißen gebracht. Die Kräfte, welche diesen Erfolg bewirkten, entsprachen, nach der Voraussetzung der Gültigkeit einer solchen Übertragung **) berechnet, Kräften von 46 Kilogrammen auf den Millimeter. Der Überschuß, der hiebei von der obigen Bestimmung Statt findet, wird von Navier auf Rechnung dessen geschrieben, daß das zu den kugelförmigen Gefäßen angewandte Blech von besserer Qualität als das zu obigen Versuchen angewandte war, und Navier schließt hiernach, daß eine Substanz, die nach mehrern Richtungen zugleich gedehnt wird, dessenungeachtet nach jeder Richtung denselben Widerstand leistet, als wenn diese Richtung die einzige wäre, nach welcher die Substanz gezogen wird.

*) Wahrscheinlich ein Druckfehler.

**) Es ist nicht beigefügt, nach welcher Regel sie geschahe.

# Elasticität *).

**Elasticität des Holzes** **). Savart prüfte die Elasticität von Buchenholz nach folgenden drei auf einander rechtwinklichen Richtungen, welche als die Richtungen der Elasticitätsaxen des Holzes angesehen werden können.

1) Parallel den Holzfasern.

2) In der Richtung eines Durchmessers des Stammes.

3) Senkrecht auf die beiden vorigen Richtungen.

Diese Prüfung geschahe so, daß Savart nach den drei in Rede stehenden Richtungen kleine parallelepipedische Stäbe von gleichen Dimensionen aus einem Würfel Buchenholz schnitt und diese in transversale Schwingungen setzte (wo sich die Elasticität wie das Quadrat der Schwingungszahlen verhält). Es ergab sich solchergestalt folgendes Verhältniß der Elasticitäten:

| | |
|---|---|
| 1) Parallel den Holzfasern . . . . . . . . . . . | 16 |
| 2) In der Richtung eines Durchmessers des Stammes | 1 |
| 3) Senkrecht auf die beiden vorigen Richtungen . . | 2,25 |

Nach jeder andern Richtung steht die Elasticität zwischen denen, die in der Richtung dieser Axen Statt finden.

Von der, in Bezug zur ungleichen Elasticität des Holzes nach verschiedenen Richtungen stehenden, Bildung der Klangfiguren auf Holzscheiben wird in der Lehre vom Schall näher die Rede sein.

**Elasticität der Krystalle** ***). Durch Schallschwingungen, in welche Savart kreisrunde Scheiben aus einigen Krystallen, besonders Bergkrystall, versetzte und Betrachtung der darauf entstehenden Klangfiguren und der begleitenden Töne hat derselbe über die Elasticität des Bergkrystalls folgende Bestimmungen abgeleitet:

1) In allen Diametralen irgend einer auf der Axe des Bergkrystalls senkrechten Ebene kann die Elasticität als beinahe gleich angesehen werden ****).

*) Hier ist bloß von der Eigenschaft der Elasticität im Allgemeinen die Rede; von den Gleichgewichts- und Bewegungserscheinungen (der Torsionskraft, den Schallschwingungen, Klangfiguren u. s. w.), welche von der Elasticität abhängen, wird unter andern Artikeln gehandelt werden.

**) Pogg. XVI. 217.

***) Pogg. XVI. 227.

****) Der Bergkrystall erscheint gewöhnlich in Gestalt einer sechsseitigen Säule mit einer sechsseitigen Pyramide an beiden Enden. Obgleich er sich auf gewöhnliche Weise nicht spalten läßt, so nimmt man doch, der Analogie gemäß an, daß seine Grundform ein Rhomboeder sei und zwar dasjenige, welches man erhalten würde, wenn der Krystall sich parallel dreien nicht zusammenstoßenden Flächen und ihren Parallelen spalten ließe. Die Richtigkeit dieser Annahme wird übrigens durch den einfachen Versuch bestätigt, daß man ein Bergkrystallprisma glühend macht und schnell erkalten läßt; denn indem es hiebei zerspringt, bekommt man oft Stücke von rhomboedrischer Gestalt.

2) Nicht alle der Axe parallelen Ebenen haben eine gleiche Elasticität; wohl aber je drei derselben, die gleiche Winkel mit einander machen. So ist die Elasticität gleich in allen Ebenen, welche den spaltbaren Pyramidenflächen parallel liegen; aber sehr verschieden von der, welche der Axe parallele, aber auf den Säulenflächen senkrechte, Ebenen darbieten u. s. f.

3) Aus dieser Identität der Elasticität in drei verschiedenen Richtungen scheint hervorzugehen, daß es im Bergkrystall drei Systeme von Elasticitätsaxen giebt.

4) Die von den Pyramiden- und Säulenflächen gebildete Kante, welche die große Diagonale des Hauptrhomboeders ist, ist die mittlere Elasticitätsaxe jedes Systems. Die, einer spaltbaren Pyramidenfläche parallele Ebene enthält die größere Axe jedes Systems, welche zugleich die kleine Diagonale der Fläche des Grundrhomboeders ist; die Diagonalebene, welche die Rhomboederfläche in ihrer großen Diagonale schneidet *), enthält die Axe der kleinsten Elasticität jedes Systems, welche senkrecht steht auf der mittlern Elasticitätsaxe und mit der größten Elasticitätsaxe einen Winkel von 57° 40′ 13″ bildet; in so fern, daß die Neigung der Rhomboederfläche gegen die Diagonalfläche ist. Mithin sind erstlich die Axen der größten und mittlern Elasticität, senkrecht auf einander stehend, in der Ebene der Rhomboederfläche enthalten, und zweitens befinden sich die Axen der mittlern und kleinsten Elasticität in der Diagonalfläche, ebenfalls senkrecht auf einander; oder es ist die stumpfe Kante des Grundrhomboeders der kleinsten, die große Diagonale der Rhomboederfläche der mittlern, und die kleine Diagonale derselben Fläche der größten Elasticitätsaxe parallel.

5) Zwischen der größten und kleinsten Elasticität im Bergkrystall findet ein größerer Unterschied Statt, als zwischen der größten und kleinsten Elasticität im Holze.

6) Der Kalkspath und Eisenspath scheinen hinsichtlich ihrer Elasticität im Allgemeinen dem Bergkrystall analog zu sein; man erkennt auch in ihnen drei Systeme von Elasticitätsaxen, die einander durchaus ähnlich zu sein scheinen; doch ist bei dem Kalkspath die kleine Diagonale der Rhomboederfläche die Axe der kleineren Elasticität, während sie bei dem Bergkrystall die der größern ist.

Wir ziehen diese Resultate hier bloß vorläufig aus. In dem Kapitel von den Klangfiguren wird von den Erscheinungen, aus welchen dieselben hergeleitet sind, näher die Rede sein.

Elasticität der Metalle im Allgemeinen. Es ist schon S. 10 angegeben worden, daß man durch akustische Erscheinungen veranlaßt wird anzunehmen, daß selbst die gegossenen Metalle, deren Gefüge doch ganz homogen erscheint, nur als eine verworrene Anordnung kleiner Krystalle oder Krystallsysteme zu betrachten sind, in so fern Scheiben, die aus sol-

*) Genauer bestimmt, die Ebene, welche, parallel einer stumpfen Kante des Grundrhomboeders, durch die große Diagonale der dieser Kante gegenüberliegenden Rhomboederfläche gelegt ist.

chen Metallen geschnitten worden sind, sich ganz wie Krystallscheiben hinsichtlich der von ihrer nach verschiedenen Richtungen verschiedenen Elasticität abhängigen Theilungsarten durch Schallschwingungen verhalten, und in so fern auch beim Erstarren gegossener Metalle Erscheinungen eintreten, welche dasselbe andeuten.

Eine natürliche Folge dieser Structur ist, daß die Elasticitätsunterschiede bei einem und demselben Metalle desto größer zu sein scheinen, je kleiner die angewandten Kreisscheiben, an denen man die akustischen Versuche anstellt, sind, weil diese Scheiben eine um so kleinere Anzahl krystallinischer Systeme enthalten, je kleiner ihr Durchmesser ist, mithin um so weniger eine Ausgleichung nach den verschiedenen Richtungen durch die verworrene Lage der Krystallsysteme bewirkt werden wird. Dies wird auch durch die Erfahrung bestätigt. So findet sich unter den beiden Tönen einer Scheibe von Blei, Zinn oder Zink, von 12 bis 15 Cent. Durchmesser selten ein größeres Intervall als ein halber Ton, während das Intervall häufig bis auf eine Quarte steigt, wenn die Scheiben aus jenen Metallen nur 3 bis 4 Centim. im Durchmesser halten.

Elasticität des Eisens. Mitis hat seine frühern Versuche über die Festigkeit und Elasticität verschiedener Eisen- und Stahlsorten (Baumg. Zeitschr. IV. 129) neuerdings fortgesetzt und erweitert. Da jedoch diese Versuche mehr technisch-praktisches Interesse haben, als zu neuen wissenschaftlich wichtigen Resultaten führen, so verweise ich darüber auf die Originalabhandlung in Baumg. Zeitschr. VI. 43.

## Härte.

Härte der Krystalle von Frankenheim *). So wie die Krystalle nach verschiedenen Richtungen verschiedene Eigenschaften hinsichtlich ihrer Elasticität, ihres Verhaltens zum Licht und zur Wärme darbieten, so findet dasselbe nach Frankenheims Untersuchungen auch in Bezug zu ihrer Härte Statt, die sich keineswegs nach allen Richtungen gleich verhält; ja es zeigen sich selbst bei den Krystallen des Tessularsystems (z. B. Kochsalz) **) Härteunterschiede nach verschiedenen Richtungen, ungeachtet diese gegen Licht und Wärme sich nach allen Richtungen gleich verhalten.

Als allgemeines Ergebniß dieser Untersuchungen möchte das anzusehen sein, daß zwischen der Härte nach den verschiedenen Richtungen und den Blätterdurchgängen der innigste Zusammenhang herrscht, so daß die Richtungen der größten und kleinsten Härte sich aus der Lage der Blätterdurchgänge bestimmen lassen. Je mehr sich die Blätterdurchgänge an Deutlichkeit von einander scheiden, und unter je weniger schiefen Winkeln sie gegen einander und gegen die zu prüfende Fläche

*) Baumg. Zeitschr. IX. 94. 194. 332.

**) Hier sind die den Diagonalen der Fläche parallelen Linien härter als jene den Kanten parallelen.

geneigt sind, desto genauer werden die Richtungen der größten und kleinsten Härte bestimmt. Unter je schieferem Winkel aber der Blätterdurchgang gegen die zu prüfende Fläche geneigt ist, desto weniger eignet er sich zur Bestimmung der Härte, und seine Wirkung, nach dem Kräfteparallelogramme zertheilt, scheint der zweier Blätterdurchgänge zu gleichen, wovon der eine zur Fläche parallel, der andere darauf senkrecht ist.

Die Härteverhältnisse nach den verschiedenen Richtungen sind unabhängig von der chemischen Beschaffenheit der Substanzen, so daß Körper von sehr verschiedener chemischer Zusammensetzung, als z. B. der kohlensaure Kalk, salpetersaures Natron, Flußspath, salpeters. Strontian gleiche Härteverhältnisse (nicht absolute Härten) nach verschiedenen Richtungen zeigen, wenn sie dieselben oder einander ähnliche Gestalten und gleichgeartete Blätterdurchgänge besitzen, dagegen Körper auch von derselben Gestalt aber verschiedenen Blätterdurchgängen jederzeit auch in ihren Härteverhältnissen von einander abweichen.

Man kann dreierlei Arten von Härteunterschieden je nach der Art ihres Vorkommens an demselben Krystalle annehmen; nämlich Härteunterschiede:

1) auf derselben Linie, je nachdem man in der einen oder in der entgegengesetzten Richtung streicht;
2) auf derselben Fläche je nach verschiedenen Richtungen;
3) auf verschiedenen Flächen desselben Krystalls.

Das Statthaben der Unterschiede ersterer Art ist an die Bedingung gebunden, daß eine Theilungsfläche unter einem stumpfen Winkel gegen die Streichlinie, in der man die Härte prüft, geneigt sei, wo dann jene Richtung die größte Härte zeigt, die gegen die durch den Anfang der Linie gehende Theilungsfläche unter einem stumpfen Winkel geneigt ist, jene die geringere, deren Neigungswinkel ein spitzer ist *). Sind zwei Theilungsflächen vorhanden, deren eine unter einem stumpfen, die andere unter einem spitzen Winkel gegen die Streichlinie geneigt ist, so können sich die Wirkungen compensiren. Die Unterschiede zweiter Art sind größtentheils viel geringer, als die der dritten Art und nur mit größerer Mühe zu beobachten, gestatten aber auch, einmal entdeckt, eine größere Sicherheit. In Bezug auf diese Unterschiede zweiter und dritter Art möchten folgende

*) Am leichtesten sind diese Unterschiede am rhomboedrischen Kalkspath zu beobachten. Unter allen Linien auf den Flächen desselben sind es bloß die den längeren Diagonalen, welche zwischen zwei schiefen oder zwei stumpfen Kanten liegen, parallelen Linien (Linien der größten Härte), die, in beiden Richtungen gestrichen, denselben Härtegrad zeigen, dagegen sich das Maximum des Unterschiedes in dieser Hinsicht auf den Linien der kleinsten Härte zeigt, welche parallel den kürzern Diagonalen sind, die zwischen einer stumpfen und einer scharfen Kante liegen; indem sie in der Richtung von der stumpferen zur schärferen Ecke gestrichen eine beinahe jener der längeren Diagonale gleiche Härte zeigen, in der entgegengesetzten Richtung gestrichen aber die kleinste Härte am ganzen Krystall. Ähnliche Erscheinungen werden auch bei andern Krystallen, besonders auffallend am salpetersauren Natron beobachtet.

Regeln, die ich hier aus den speciellen Resultaten ausziehe, am meisten dienen, eine allgemeine Einsicht in den Gegenstand zu geben.

Im Fall bloß ein einziger Blätterdurchgang Statt fände, so wäre die Härte am kleinsten in der auf den Blätterdurchgang senkrechten, am größten in der damit parallelen Richtung und, wie schon erwähnt, nimmt der Unterschied zwischen den Richtungen um so mehr zu, je weniger schief der Blätterdurchgang gegen die geprüfte Fläche geneigt ist.

Sind zwei auf einander senkrechte gleich deutliche Blätterdurchgänge vorhanden, die unter rechten oder nicht sehr schiefen Winkeln gegen die Ebene der Beobachtung geneigt sind, so ist die Härte in der Richtung der Diagonale größer als in der Richtung der Blätterdurchgänge selbst; sind diese Blätterdurchgänge ungleich spaltbar, so ist die Weichheit des Strichs am größten in der auf den deutlichern Blätterdurchgang senkrechten Richtung; sind zwei Blätterdurchgänge gleich deutlich oder unter einem schiefen Winkel gegen einander und symmetrisch gegen die Ebene der Beobachtung geneigt, so fällt in die Richtung der Diagonalen, welche ihren spitzen Winkel theilen, die größere, in die Richtung der Diagonalen, welche ihren stumpfen Winkel theilen, die geringere Härte.

Hiernach wird sich auf allgemeine Weise die Beziehung der Richtungen der größten und kleinsten Härte auf jeder Fläche in Bezug zu der Richtung der Blätterdurchgänge voraussehen lassen, indem auch bei ungleichartigen und schief geneigten Blätterdurchgängen ein ähnlicher Bezug der Richtung der größten und kleinsten Härte zu der Lage der deutlichern und minder deutlichern Blätterdurchgänge erkannt wird, als im Vorigen; indeß führen doch die Beobachtungen noch zu keiner sichern Formel, nach der man bestimmen könnte, wie sich die Wirkung der verschiedenen Blätterdurchgänge hiebei zusammensetzt, daher man vorläufig noch die detaillirten Beobachtungen selbst zu sammeln hat.

In Bezug auf die verschiedenen Flächen gelten folgende Regeln:

Alle Flächen, welche die Krystallographen für homolog ansehen, haben gleiche Härten.

Im Allgemeinen steht die mittlere Härte einer Fläche im verkehrten Verhältnisse zu ihrer Theilbarkeit; oder in jeder Krystallfläche sind jene Linien die härtesten, die den Perpendikeln auf die härtesten Flächen am nächsten liegen, jene die schwächsten, die sich den Perpendikeln auf die schwächsten Flächen nähern, und umgekehrt; so daß auf diese Art die mittlere Härte der Flächen mit der Richtung der größten und kleinsten Härte auf derselben in Verbindung steht, wodurch jedoch nicht gesagt sein soll, daß die Richtungen der größten und kleinsten Härte der Flächen und jene der Linien immer unter sich genau senkrecht sein müssen.

Der Verfasser hat zu allen diesen Bestimmungen sehr ausführliche Belege und nähere Erörterungen mitgetheilt. Da jedoch nach der allgemeinen Kenntniß der angeführten Data das Detail mehr von mineralogischem als

physikalischen Interesse sein möchte, so verweise ich hierüber auf die Originalabhandlung.

Verfahren der Untersuchungen. Das Verfahren, mittelst dessen der Verf. seine Resultate fand, war folgendes: Die Krystalle wurden auf ganz glatten reinen und wo möglich erst vor kurzem blosgelegten Flächen mit Stengelchen oder Nadeln von Zink, Blei, Zinn, Gold, Silber, Kupfer und Eisen von verschiedener Härte, härtere Krystalle mit Topas und Sapphir gestrichen, um zu beobachten, ob die Flächen davon geritzt wurden. Aus diesen Körpern wurden jene gewählt, welche den zu prüfenden Krystall an Härte am wenigsten übertrafen. Bei jedem Krystall wurden nur jene Beobachtungsresultate mit einander verglichen, welche mittelst desselben Stengelchens möglichst schnell hinter einander erhalten wurden.

Zusatz. Frankenheim *) stellte einige Versuche auch über die relative Leichtigkeit an, mit welcher verschiedene Flächen, Kanten oder Ecken eines und desselben Krystalls durch schwache Säuren oder Salzauflösungen angegriffen werden; und sahe dabei häufig einige Flächen in Kurzem ihren Glanz verlieren, während ihn andere länger beibehielten; die Kanten oder Flächen bald concav, bald convex werden, und wenn der Krystall aufgelöst ward, einige Winkel ihre Schärfe beibehalten oder vermehren, andere dagegen sich in Kurzem abrunden. Die Resultate fallen nach dem Verfasser constant aus, sind jedoch nicht näher von ihm specificirt worden. Wahrscheinlich stehen sie in nahem Bezuge zu den vorerwähnten, die der Verf. über die Härte der Krystalle nach verschiedenen Richtungen und an verschiedenen Flächen erhalten hat, was jedoch noch nicht näher untersucht ist. Auch die Versuche Daniell's (in den Ann. de Ch. et de Ph. II. 287. IV. 33) haben einige Beziehung zu denen Frankenheim's, doch wurde von Daniell nicht die Einwirkung der Flüssigkeiten auf einzelne Krystallflächen, sondern auf zusammengesetzte Krystalle untersucht.

---

## IV. Über die mathematische Betrachtung der Gleichgewichts- und Bewegungserscheinungen im Allgemeinen.

Die mathematische Behandlung der Gleichgewichts- und Bewegungserscheinungen der Körper hat in neuern Zeiten höchst wichtige und folgenreiche Fortschritte gemacht, und zwar haben sich seit Laplace und Lagrange die umfassendsten Verdienste in dieser Hinsicht Fourier, Cauchy und Poisson erworben, während andere, wie z. B. Gauß, Navier u. a. einzelne Probleme glücklich behandelt haben. Eine ausführliche Entwickelung dessen, was von diesen Mathematikern geleistet worden ist, kann

*) Baumg. Zeitschr. IX. 197.

hier nicht Platz finden; es mag daher an einer kurzen Angabe dessen genügen, was mir hauptsächlich in diesen Beziehungen Bemerkung zu verdienen scheint.

1) Poisson und Cauchy haben zuerst bei der Behandlung der Gleichgewichts- und Bewegungs-Erscheinungen die bisher stets zu Grunde gelegte Vorstellung verlassen, daß die Körper continuirliche Massen seien und statt dessen die Vorstellung derselben als Aggregate discontinuirlicher Theilchen angenommen.

Allerdings hat schon Laplace die Vorstellung entwickelt, zu der sich auch nachher der größte Theil der Physiker bekannt hat, daß die Körper wohl Aggregate discontinuirlicher Theilchen sein möchten; indeß haben weder er selbst, noch seine Nachfolger bei der mathematischen Behandlung der Probleme des Gleichgewichts und der Bewegung der Körper auf Abstände zwischen den einzelnen Theilchen Rücksicht genommen, vielmehr die Summirung der Wirkungen der einzelnen Theilchen stets so vorgenommen, als wenn letztere eine continuirliche Masse bildeten. Dieses nun ist unstreitig zulässig, so lange es sich um Kräfte handelt, welche von Außen auf die Körper einwirken, wie die Anziehungen gegen andere Körper, Stoßkräfte, die von andern Körpern geäußert werden; allein diese Vorstellungsart kann öfters ungenügend werden, wenn sich die Berechnung auf Erscheinungen bezieht, bei denen Wirkungen, welche die einzelnen Theilchen der Körper selbst auf einander äußern, ins Spiel kommen, Wirkungen, von deren Verschiedenheit nicht nur die Verschiedenheit der Aggregatzustände, sondern auch die Verschiedenheiten in den Eigenschaften Elasticität, Härte u. s. w. abhängen. In diesen Fällen kann es öfters (nach Poisson überhaupt, nach Cauchy wenigstens bei festen Körpern vergl. S. 21) unzulässig werden, die summirten Wirkungen der kleinsten Theilchen auf bestimmte Integrale (die zwischen den Gränzen Null und Unendlich genommen werden) zurückzuführen, statt deren man vielmehr Summen mit endlichen Differenzen der Variabeln beizubehalten hat.

Poisson und Cauchy scheinen ziemlich gleichzeitig *) und unabhängig von einander die in Rede stehenden Probleme aus diesem neuen Gesichtspunkte betrachtet und behandelt zu haben; der erste zuerst in seiner Abhandlung: Sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques in den Mém. de l'Acad. royale 1829, T. VIII. 357; dann in mehrern darauf folgenden Abhandlungen, welche auch die flüssigen Körper betreffen, ibid. IX. 1. X. 317. und Journ. de l'école polyt. cah. XX; Cauchy zuerst in seinen Exercices de Math. T. III. 188 in der Abhandlung: Sur l'équilibre et le mouvement d'un système de points matériels sollicités

*) Poisson's Abhandlung in den Mém. de l'Acad. royale VIII. war mindestens noch nicht erschienen, sondern bloß eine Inhaltsangabe derselben in den Ann. de Ch. et de Ph., als Cauchy's Untersuchungen über diesen Gegenstand in seinen Exerc. de Math. ans Licht traten. (Vergl. diese Exerc. III. p. 230.)

par des forces d'attraction on de répulsion mutuelle; dann noch mehreren andere Abhandlungen in denselben Exercices (besonders III. 213. IV. 129), wobei auch einige Erörterungen desselben in dem Bull. univ. des scienc. mathem. et phys. T. XI. p. 413. XII. 223 verglichen zu werden verdienen.

Cauchy hat das Problem des Gleichgewichts und der Bewegung von Systemen materieller gesonderter Theilchen in ungleich größerer Allgemeinheit aufgefaßt, als Poisson, denn während letzterer seine Vorstellungen über die Verhältnisse der kleinsten Theilchen der Körper nur bei Gelegenheit der speciellen Probleme, die er behandelt, entwickelt und so weit in die Rechnung hineinzieht, als es für den betreffenden Gegenstand erforderlich ist *); hat Cauchy diese Verhältnisse selbst auf die möglichst allgemeine Weise, so weit es für die jetzige Analyse überhaupt ausführbar zu sein scheint, aufgefaßt und der Berechnung unterworfen, und so Gleichungen erhalten, die sich dann einer großen Menge specieller Suppositionen fügen, und solchergestalt sehr fruchtbar werden können.

Die Voraussetzungen, für welche Cauchy die allgemeinen Gleichungen aufsucht, sind folgende **):

Es sind eine sehr große Menge materieller Punkte oder Molecule gegeben, die willkührlich in einem Theile des Raumes vertheilt sind und durch gegenseitige Anziehungs- oder Abstoßungskräfte sollicitirt werden ***). Es wird angenommen, die Anziehungs- oder Abstoßungskraft zwischen je zweien Theilchen m und m′ sei gleich dem Producte ihrer Massen, multiplicirt durch eine (unbestimmt gelassene) Function ihres gegenseitigen Abstandes; es sei aber die Wirkung beider Theilchen auf einander und die erwähnte Function des Abstandes so beschaffen, daß sie nur für sehr kleine Werthe des Abstandes noch merkliche Werthe behält. Ferner beschränkt sich die Herleitung der Gleichungen auf den Fall, daß die Änderung des Abstandes je zweier Theilchen nur in einem, wenig von der Einheit verschiedenen, Verhältniß geschieht.

Unter diesen, sehr allgemeinen, Voraussetzungen nun findet Cauchy Gleichungen ****), die sich auf alle, in der Natur vorkommende Körper (selbst Licht- und Wärmefluidum) scheinen anwenden zu lassen; je nachdem man gehörige, der physikalischen Beschaffenheit dieser Körper entsprechende, Voraussetzungen in dieselben substituirt. Durch solche Voraussetzungen für besondere Fälle lassen sie sich, je nach der Beschaffenheit der betrachte-

*) Diese Vorstellungen sind S. 19 mitgetheilt worden.

**) Exerc. III. p. 188.

***) Eine besondere Wirkung der materiellen Theilchen und der Wärme wird hiebei nicht unterschieden.

****) Man erhält die allgemeinsten Gleichungen, wenn man in Cauchy's Exerc. III. in die Formeln (32) und (34) pag. 197 und 198 die Werthe von X, Y, Z substituirt, die durch die Gleichungen (25), (26), (30), (31) gegeben werden. (Vergl. auch Ostrogradsky in Bull. un. des sc. math. XIV. 249.)

ten, Körper, mehr oder minder vereinfachen, während sie in ihrer allgemeinsten Form allerdings so complicirt sind, daß sie sich schwer übersehen lassen und direct gar keine Brauchbarkeit haben würden, ungeachtet bei der Entwickelung derselben die Potenzen der Abstände der Theilchen, welche die zweite übersteigen, und die Potenzen der Ortsveränderungen der Theilchen, welche die erste übersteigen, vernachlässigt worden sind.

2) Die allgemeinen Gleichgewichts- und Bewegungsgleichungen fester elastischer Körper sind neuerdings zuerst gegeben worden, während man früher bloß einzelne davon abhängige Probleme nach besondern Betrachtungen behandelt und gelöst hatte.

Zuerst Navier, dann ziemlich gleichzeitig Cauchy und Poisson *) haben, jeder auf eigenthümlichem Wege, diese Gleichungen entwickelt.

Die Untersuchungen Navier's und Poisson's betreffen bloß Körper, die nach allen Richtungen gleich elastisch sind. Navier ferner hat bloß die Differenzialgleichungen gegeben, ohne sie zu integriren oder für besondere Fälle anzuwenden; und wiewohl seine Gleichungen mit denen von Poisson in der Form übereinkommen, so hat doch über die Principien, von denen er dabei ausgegangen ist, eine lebhafte Discussion zwischen Navier und Poisson Statt gefunden **). Indeß, wenn auch Navier das Verdienst bleibt, die allgemeine Form jener Gleichungen zuerst aufgefunden zu haben, so hat doch jedenfalls Poisson das weit größere, sie, nachdem er sie auf eigenthümlichem Wege, unter der Betrachtung der Körper als Aggregate discontinuirlicher Theilchen, von Neuem hergeleitet hat, integrirt ***), und durch mannichfaltige Anwendungen der Verglei-

*) Nur eben sind mir auch die Untersuchungen von Lamé und Clapeyron in Crelle J. VII. S. 150. 337. (deren Fortsetzung jedoch noch erst erwartet wird) zu Gesicht gekommen, welche ebenfalls zu Gleichungen von derselben Form als die Navierschen führen. Sie betreffen gleich den Navierschen Untersuchungen nur homogene Körper, welche nach allen Richtungen gleich elastisch sind. — Ich weiß nicht, ob Pagani seine Untersuchungen über denselben Gegenstand, die er wenigstens zu geben beabsichtigt hat, (vergl. Quetelet Corresp. T. VI. p. 87) schon mitgetheilt hat.

**) Vergl. über diese Discussion von Navier's Seite Ann. de Ch. et de Ph. XXXVIII. 304. XXXIX. 145. XL. 99. Bullet. des sc. math. XI. 243; von Poisson's Seite Ann. de Ch. et de Ph. XXXVIII. 435. XXXIX. 204. — Vergl. auch über diese Discussion Arago in Ann. de Ch. et de Ph. XL. 107. und Pagani in Quetelet Corresp. math. T. VI. p. 87.

***) Die partielle Differenzialgleichung, welche die Gesetze der kleinen Schwingungen homogener nach allen Richtungen gleich elastischer Körper auszudrücken dient, läßt sich auf folgende Form bringen:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = a^2\left(\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{d^2\varphi}{dy^2} + \frac{d^2\varphi}{dt^2}\right)$$

Die Integration dieser Gleichung hat Poisson schon früher in den Mém. de l'Acad. T. III. gegeben. Die Reduction der Gleichung des Problems auf dieselbe aber in einem Article additionnel in den Mém. de l'Acad. T. VIII. p. 623. Andere Integrale, welche für die Herleitung physikalischer Folgerungen bequemer

chung mit der Erfahrung zugänglich und hiemit erst eigentlich wirklich fruchtbar gemacht zu haben; und sind gleich seine Suppositionen ebenfalls nicht von allen Schwierigkeiten frei *), so hat doch die Erfahrung selbst die Resultate, zu denen er dadurch geführt worden ist, bis jetzt durchgehends bestätigt.

Die Arbeit Navier's ist in den Mém. de l'Acad. 1827. T. VII. p. 375 (kurze Angabe der definitiven Formeln im Bullet. univers. des sc. math. X. 235) enthalten; die Abhandlung Poisson's in den Mém. de l'Acad. T. VIII. 357. 623.

Cauchy hat seine Untersuchungen sämmtlich in seinen Exercices de Math. niedergelegt. Sie führen in Bezug auf Körper, welche nach allen Richtungen gleich elastisch sind, zu Formeln, welche in der Form mit denen von Poisson und Navier übereinstimmen. Außerdem aber hat er auch, und dies ist sein eigenthümliches Verdienst **), die allgemeinen Gleichgewichts- und Bewegungsgleichungen für Körper, die nach verschiedenen Richtungen verschieden elastisch sind, gegeben. Überhaupt tragen seine Untersuchungen den Mangel der größten, allerdings oft ermüdenden, Allgemeinheit, und umfassen neben den Gleichungen für die elastischen festen Körper auch die für Körper, die der Elasticität gänzlich beraubt sind. Brauchbare Anwendungen seiner Formeln vermißt man zwar nicht, doch ist er viel weniger darauf eingegangen, als Poisson.

Da die Cauchyschen Untersuchungen in vielen einzelnen Abhandlungen seiner Exercices zersplittert sind, so wird dem, der an ihr Studium gehen will, eine Übersicht ihres Ganges hier vielleicht willkommen sein.

Cauchy entwickelt zuvörderst die allgemeinen Gleichgewichts- und Bewegungsgleichungen fester sowohl als flüssiger Körper unter Voraussetzung, daß diese Körper continuirliche Massen sind (Ex. II. 108. III. 166), nachdem er über die Verhältnisse der Druck- und Spannkräfte, welche in den Körpern um denselben Punkt nach verschiedenen Richtungen wirksam sind (Ex. II. 42, weiter entwickelt in IV. 30. 41), so wie über die Verhältnisse, welche bei der Contraction und Dilatation der Körper Statt finden (Ex. II. 60. III. 237. IV. 216), sehr allgemeine und durch besondere Eleganz ausgezeichnete, Entwickelungen gegeben, die hiebei benutzt werden. Von hier aus leitet er die Gleichungen des inneren Gleichgewichts- und Bewegungszustandes eines nach allen Richtungen gleich elastischen Körpers für den Fall sehr kleiner Gestaltänderungen unter folgenden zwei Voraussetzungen ab (Ex. III. 167):

sind, hat Poisson in den Mém. de l'Acad. T. X. p. 592 gegeben, und ebendaselbst p. 594 auch die, von Ostrogradsky unter einer noch andern Form dargestellten Integrale derselben Gleichung mitgetheilt.

*) Vergl. darüber Navier in den vorerwähnten Discussionen.

**) Dieses Verdienst scheint mir in der That nicht gering zu sein, da nach dem S. 10 und 13 Erörterten, Körper, die nach allen Richtungen gleich elastisch wären, kaum in der Natur vorzukommen scheinen.

1) daß Druck oder Zug bloß der linearen Contraction oder Dilatation nach der Richtung des Drucks oder Zugs proportional sei (pag. 167—176);

2) für die allgemeinere Voraussetzung, daß Druck oder Zug $\varpi$ aus zwei Theilen bestehe, deren einer der Linear-Contraction oder Dilatation $\varepsilon$ nach der Richtung des Drucks oder Zugs, der andere der Volumen-Änderung $v$ des Körpers einfach proportional sei, so daß man habe

$$\varpi = k\,\varepsilon + Kv$$

wo k und $K$ constante Größen sind (pag. 177. 183). Die Gleichungen, welche er solchergestalt findet, stimmen mit denen überein, die Poisson und Navier auf andere Weise gefunden haben, wofern man nur in den Cauchyschen Gleichungen $k = 2K$ setzt *).

Cauchy faßt jetzt das Problem der elastischen Körper von Neuem unter dem Gesichtspunkte auf, daß es Aggregate sehr kleiner discontinuirlicher Theilchen sind, für welche Aggregate er die allgemeinen Gleichungen, wie schon erwähnt (Ex. III. 188. 213. IV. 129), entwickelt hat. Durch gewisse Suppositionen, welche der Beschaffenheit von festen, nach verschiedenen Richtungen ungleich elastischen, Körpern zu entsprechen scheinen, vereinfachen sich diese Gleichungen so weit, daß sie, Druck oder Zug im Innern des Körpers in seinem natürlichen Zustande für null angenommen, noch 15, von der Beschaffenheit des Körpers abhängige, bis jetzt nicht anders als durch Erfahrung zu bestimmende, Coefficienten enthalten. (Ex. IV. p. 2 ff.)

Im Fall dreier, auf einander rechtwinklicher Elasticitätsaxen, bleiben hiervon bloß noch 6 (durch Erfahrung zu findende) Coefficienten übrig (Exerc. III. p. 235. IV. 3), die sich dadurch bestimmen lassen, daß man die Schallgeschwindigkeit oder die longitudinale Schwingungszahl von Stäben, die nach 6 verschiedenen Richtungen aus einem solchen Körper herausgeschnitten sind, ausmittelt **), und nimmt man an, daß die Elasticität nach allen Richtungen gleich wird, so reduciren sich diese Coefficienten auf zwei, oder, in so fern einer dieser Coefficienten gegen den andern verschwindet (G gegen R), auf einen einzigen (Ex. III. p. 211), wo dann diese Gleichungen mit denen in der Form coincidiren, die nicht nur Navier und Poisson, sondern auch Cauchy selbst von andern Betrachtungen aus für diesen Fall gefunden haben.

*) Unter analogen Voraussetzungen, als den beiden vorigen, werden auch von Cauchy die Gleichgewichts- und Bewegungsgleichungen an Körpern, welche der Elasticität ganz beraubt sind, aufgesucht. (Exerc. III. p. 183.)

**) Man bestimmt nämlich die Coefficienten a, b, c, d, e, f in Gleichung (14) auf pag. 4. in Exerc. IV, indem man 1) die Schallgeschwindigkeiten $\Omega'$, $\Omega''$, $\Omega'''$, $\Omega_1$, $\Omega_2$, $\Omega_3$ (pag. 38) direct aufsucht, oder aus den longitudinalen Schwingungszahlen der Stäbe nach der Formel (16) pag. 46. herleitet; 2) hieraus $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{D}$, $\mathfrak{E}$, $\mathfrak{F}$ mittelst der Gleichungen (35) und (36) pag. 38. bestimmt; endlich 3) mittelst (32) und (33) pag. 38. a, b, c, d, e, f bestimmt.

Die speciellen Probleme anlangend, die Poisson und Cauchy behandelt haben, so sind zunächst von beiden die longitudinalen, transversalen und drehenden Schwingungen elastischer Stäbe der Untersuchung unterworfen worden*); wobei sich Poisson auf die Betrachtung gerader, cylindrischer, nach allen Richtungen gleich elastischer Stäbe von constantem Durchmesser beschränkt hat, während dagegen Cauchy rechteckige Stäbe, und zwar sowohl gerade als gebogene, sowohl von constanter als variabler Dicke, und sowohl für den Fall einer nach allen Richtungen gleichen, als einer nach verschiedenen Richtungen verschiedenen Elasticität betrachtet. Indeß ist er keineswegs bei allen diesen Fällen bis zu numerischen Lösungen herabgestiegen, so daß seine Untersuchungen, (abgerechnet die Verallgemeinerung von Resultaten, die für Stäbe von gleichförmiger Elasticität gefunden worden sind, auf Stäbe von nach verschiedenen Richtungen verschiedener Elasticität) im Grunde nicht reicher an für die Erfahrung brauchbaren Resultaten sind, als Poisson's; doch ist ihm die Bestimmung der longitudinalen Schwingungszahl eines kreisförmig gebogenen Stabes (Exerc. III. 285. 365) eigenthümlich. Außerdem behandelt Cauchy bloß noch die Gleichgewichts- und Bewegungsgleichungen einer dünnen Platte von gleichförmiger und ungleichförmiger Elasticität (wovon die Klangfiguren abhängen) (Exerc. III. 328. IV. 1), jedoch ohne numerische Lösungen, während Poisson dieselben Probleme zwar nur in Bezug auf Platten von gleichförmiger Elasticität behandelt, aber auch für besondere Fälle numerische Lösungen giebt (Mém. de l'Acad. VIII. p. 545). Ferner hat auch Poisson die Gesetze der Schwingungen einer Kugel, einer Saite und einer rechteckigen und kreisrunden Membran definitiv entwickelt, so daß ungeachtet der größern Allgemeinheit von Cauchy's Untersuchungen, doch die Poissonschen bis jetzt für die Erfahrung viel fruchtbarer gewesen sind.

Die Resultate, die so erhalten worden sind, und ihre Vergleichung mit der Erfahrung, werde ich in der Lehre vom Schall mittheilen; Einiges, was die Gleichgewichtserscheinungen betrifft, wird auch in den nächsten Artikeln vorkommen.

Bei der großen Wichtigkeit der hier betrachteten Untersuchungen und der geringen Notiz, die man bis jetzt von den Cauchyschen Untersuchungen in Deutschland genommen zu haben scheint, schien mir eine etwas nähere Mittheilung ihres Inhalts und Zusammenstellung mit den Poissonschen hier nicht am unrechten Orte zu sein.

3) Die Gleichgewichts- und Bewegungserscheinungen der Flüssigkeiten anlangend, so sind die allgemeinern Gleichgewichts- und Bewegungsgleichungen der Flüssigkeiten aufs Neue von Poisson unter Betrachtung der Körper als Aggregate discontinuirlicher Theilchen ent-

*) Poisson in Mém. de l'Acad. T. VIII. p. 442. Cauchy in s. Exerc. III. 245. 356. IV. 15. 30. 43. 47.

wickelt, auf den Fall zweier über einander befindlichen Flüssigkeiten ausgedehnt *), und weiter als bisher, namentlich auch in ihrer Anwendung auf die Undulationstheorie des Lichts erörtert worden, in welchem letztern Bezuge auch Cauchy ganz neuerdings eine wichtige Arbeit bekannt gemacht hat **). Hauptsächlich zwei bisher vernachlässigte Umstände, auf die Poisson zuerst aufmerksam gemacht hat, nämlich die Variation des Drucks nahe an der Oberfläche und den Gefäßwänden der Flüssigkeiten und das Nicht-Statthaben des Princips der Gleichheit des Drucks nach allen Richtungen im Bewegungszustande der Flüssigkeiten, haben Poisson veranlaßt, die frühern Gleichgewichts- und Bewegungsgleichungen der Flüssigkeiten in einigen Bestimmungen abzuändern.

Die Lehre von den Capillarerscheinungen hat durch Gauß und Poisson ***) eine neue und sicherere Begründung als früher durch Laplace selbst erhalten. Außerdem sind noch manche einzelne Probleme, deren Literatur man in der Literatur der physikalisch-mathematischen Abhandlungen zum Schlusse des zweiten Bandes finden wird, vollständiger oder genauer als bisher gelöst worden.

4) Man hat in der Behandlung der partiellen Differenzialgleichungen (Partialgleichungen), zu welchen die mathematische Betrachtung so vieler physikalischen Probleme führt, in der Bestimmung der Werthe von bestimmten Integralen, auf welche die Integration der Partialgleichungen gewöhnlich zurückgeführt wird, und in der, für die definitive Lösung der Probleme sehr wichtigen Methode, die willkührlichen Functionen, welche in die Integrale der Partialgleichungen eingehen, durch Reihen periodischer Quantitäten auszudrücken, neuerdings sehr wichtige Fortschritte gemacht.

Abgesehen von den schon etwas frühern Verdiensten, welche sich namentlich Laplace, Lagrange, u. a. in diesem Bezuge erworben haben, sind von neuen Leistungen darüber wiederum hauptsächlich die von Fourier, Gauß, Poisson und Cauchy zu nennen.

Fourier hat in seiner Théorie analytique de la chaleur und mehrern andern Memoiren in Bezug auf die ganze Behandlungsart der, von der Lösung der partiellen Differenzialgleichungen abhängigen, Probleme in mehrerer Hinsicht gewissermaßen eine neue Bahn gebrochen, Poisson und Cauchy haben diese zum Theil verfolgt, zum Theil aber auch ganz eigenthümliche neue Wege eingeschlagen.

Die wichtigsten neuern Arbeiten in den angegebenen Beziehungen dürf-

*) Mém. de l'Acad. IX. p. 1. X. p. 317. 549.; — Journal de l'école polyt. cah. XX. (Gegenwärtig noch unter der Presse.)

**) Mém. de l'Acad. X. 293. und Cauchy Exercices V. 19.

***) Poisson in einer eignen Schrift, die noch unter der Presse is[t] Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 61.; Gauß desgl. in einer besonder[n] Principia generalia theoriae figurae fluidorum in statu aequilibri[i]

ten überhaupt außer denen von Fourier in der angezeigten Schrift enthaltenen, folgende sein:

über Integration der partiellen Differenzialgleichungen. Poisson in Mém. de l'Acad. 1818. III. p. 121; derselbe im Journal de l'école polyt. 1823. cah. XIX. 215 *). (Vergl. auch Poisson im Journal de l'école polyt. cah. XV. p. 218. und Bulletin de la soc. philom. 1815. p. 183. 1817. p. 180. 1818. p. 125. 1819. p. 119. 1822. p. 81.) — Cauchy im Journal de l'école polytechn. cah. XIX. p. 511; derselbe in Mém. de l'Acad. 1830. p. 97 **). (Vergl. außerdem Cauchy im Bulletin de la soc. philom. 1819. p. 10. 1821. p. 101; Cauchy Exerc. de Math. T. II. p. 121. 181. 192.) — Ampère im Journal de l'école polyt. cah. XVII. und cah. XVIII. p. 1 ***). — Ohm in der Leipziger Literaturzeitung, 1831. Nr. 122 ****). (Vergl. auch Corancez in Bull. univ. des sc. math. X. 111. Raabe in Baumg. und Ett. Zeitschr. VII. 159. Challis in Philos. Mag. 1829. Aug. 123. Oct. 296 u. a.)

über die bestimmten Integrale. Poisson im Journal de l'école polyt. cah. XVI. XVII. 612. XVIII. 295. XIX. 404. und Mém. de l'Acad. T. VI. p. 571. (Vergl. auch Bullet. de la soc. philom. 1822. p. 134. und Bullet. univ. des sc. math. I. 332. X. 116.) — Cauchy in vielen Abhandlungen seiner Exercices de Mathemathiques; ferner in einem Mémoire sur les intégrales définies prises entre des limites imaginaires. Paris, 1825; im Journal de l'école polyt. cah. XIX. p. 571; in Gergonne Ann. XVI. No. 4. XVII. No. 3. — Legendre in s. Traité des fonctions elliptiques etc. — (Vergl. außerdem Vernier in Gergonne Ann. XV. No. 6. oder Bull. univ. des sc. math. III. 83; Schmidten Disquisitio de seriebus et integralibus definitis. Havniae, 1825; Dirichlet in Crelle J. IV. 94 oder Bullet. univ. des sc. math. XI. 262 u. a.)

*) Die erstere dieser Abhandlungen, welche in den Mém. de l'Acad. enthalten ist, behandelt lineare Partialgleichungen mit constanten Coefficienten; die letztere (im Journal de l'école), eine Fortsetzung der erstern, eben solche Gleichungen mit variablen Coefficienten, und zwar letztere beide Abhandlungen fast ausschließlich solche Gleichungen, welche schon physikalische Wichtigkeit erlangt haben.

**) Die erste dieser Abhandlungen behandelt die linearen Partialgleichungen mit constanten Coefficienten ganz allgemein, in der zweiten werden die Formeln in Bezug auf eben solche Gleichungen mit variablen Coefficienten auszugsweise aus einer andern, wie es scheint noch nicht erschienenen, Arbeit mitgetheilt.

***) Die Abhandlung in cah. XVII, welchen Band ich mir noch nicht habe verschaffen können, scheint eine neue Methode zur Integration der Partialgleichungen zu enthalten, die in der Abhandlung in cah. XVIII. auf Gleichungen der ersten und zweiten Ordnung angewandt wird.

****) Ohm theilt hier auszugsweise aus einem bis jetzt noch nicht erschienenen Theile eines allgemeinen mathematischen Werks die (bisher noch nicht ermittelt gewesene) allgemeine Form mit, welche das allgemeine Integral einer Partialgleichung der nten Ordnung zwischen m Variablen annehmen muß, so oft solches in endlicher Form dargestellt werden kann.

Über den Ausdruck der Functionen durch Reihen periodischer Quantitäten sind besonders die Untersuchungen Poisson's im Journal de l'école polyt. cah. XVIII. 417. und XIX. 145. 432. und Cauchy's in Mém. de l'Acad. T. VI. p. 603. von Wichtigkeit.

Noch scheint mir eine neue Art des Calculs, die Cauchy entdeckt und auf die Behandlung vieler rein mathematischer wie auch physikalischer Probleme angewandt hat, und welchen er den Namen Rückstandsrechnung (calcul des résidus) beilegt, hier eine Erwähnung zu verdienen, da sie, ohne gerade neue Resultate von umfassender Wichtigkeit bis jetzt herbeigeführt zu haben, doch Methoden und Formeln von großer Bequemlichkeit und Eleganz für die Behandlung vieler, namentlich auch physikalischer, Probleme an die Hand giebt *). Die ersten Principien dieser Rechnung finden sich im ersten Hefte des ersten Bandes der Exerc. math. von Cauchy auseinandergesetzt und eine weitere Entwickelung derselben ist in den successiven Heften desselben und der spätern Bände dieser Exercices **) gegeben; eine Anwendung dieser Rechnung auf physikalische Probleme aber in einer besondern Abhandlung: Mém. sur l'application du calcul des résidus à la solution des problèmes de physique math. Paris, 1827; wovon eine Fortsetzung in den Mém. de l'Acad. 1827. T. VII. p. 463. enthalten ist.

5) Nicht unstatthaft dürfte es seyn, hier noch folgende drei Regeln von Gauß, Poisson und Cauchy anzuschließen.

Neues Princip der Mechanik von Gauß ***). Durch Combination des Princips der virtuellen Geschwindigkeit mit dem d'Alembertschen Princip hat Gauß folgendes Princip dargethan:

Es seien m, m′, m″ u. s. w. die Massen eines Systems von bewegten Punkten; A, A′, A″ . . . die Lagen, welche sie nach Verfluß der Zeit t einnehmen; B, B′, B″ . . . die, welche sie nach dem Zeitintervall d t vermöge ihrer erlangten Geschwindigkeiten und der beschleunigenden Kräfte, von denen sie sollicitirt werden, einnehmen würden, wenn sie vollkommen frei wären. Die Lagen C, C′, C″ . . ., welche sie wirklich einnehmen werden, werden die sein, für welche die Summe $m\overline{BC}^2 + m'\overline{B'C'}^2 +$ etc. ein Minimum unter Zuziehung aller Bedingungen des Systems ist. In dem

*) Man kann unstreitig fragen, ob die Einführung neuer Rechnungsmethoden, die im Grunde definitiv nicht mehr leisten, als die früher bekannten, nicht vielmehr eine Überladung als ein Fortschritt der Wissenschaft zu nennen sei; indeß scheint mir die Rückstandsrechnung Cauchy's, wenn man sich einmal mit ihren Principien vertraut gemacht hat, in der That manche Umwege bei der Auffindung und Darstellung von Solutionen mathematischer und physikalischer Probleme zu ersparen, und wegen der Allgemeinheit und Eleganz der Formeln, die sie an die Hand giebt, eine größere Beachtung zu verdienen, als sie bis jetzt in Deutschland gefunden zu haben scheint.

**) Bis jetzt sind sie zum dritten Hefte des fünften Bandes (51sten Hefte des Ganzen) gediehen.

***) Crelle J. IV. Heft 3.

besondern Falle des Gleichgewichts ist es die Summe $m\overline{AB}^2 + m'\overline{A'B'}^2 +$ etc., welche ein Minimum ist.

Regel von Poisson *). Wenn ein Problem der Geometrie oder Mechanik auf eine Partialgleichung führt, so ist nothwendig, daß alle Quantitäten, wie die Geschwindigkeiten der beweglichen Körper, die Ordinaten der Curven, die Neigungen ihrer Tangenten, die Krümmungsradien u. s. w., deren Differenziale in die Gleichung des Problems eingehen, dem Gesetze der Continuität unterworfen sind; denn diese Gleichung setzt wesentlich voraus, daß die Variation jeder dieser Quantitäten zu gleicher Zeit als der Zuwachs der Variabeln, von welcher sie abhängt, unendlich klein wird. Wenn es sich sonach um eine Partialgleichung von einer beliebigen Ordnung n handelt, welche

$$\frac{d^n y}{dx^n} \text{ oder } \frac{d.\frac{d^{n-1}y}{dx^{n-1}}}{dx}$$

in sich enthält, so müssen die Werthe von y, $\frac{dy}{dx}$, $\frac{d^2y}{dx^2}$, bis inclusive $\frac{d^{n-1}y}{dx^{n-1}}$ dem Gesetze der Continuität unterworfen sein; die Quantität $\frac{d^n y}{dx^n}$ und alle Differenzialcoefficienten höherer Ordnungen aber brauchen ihr nicht nothwendig unterworfen zu sein; und bloß hierin läßt die Rechnung eine Discontinuität zu.

Im Original wird diese Regel durch ein Beispiel näher erläutert.

Regel von Cauchy **). Es sei eine Partialgleichung gegeben, in welcher alle Ableitungen ***) (dérivées) der (gewöhnlich durch $\varphi$ bezeichneten) Hauptvariable in Bezug auf die unabhängigen Variabeln x, y, z, t von gleicher Ordnung sind. Wenn die Anfangswerthe der Hauptvariable und ihrer Ableitungen in Bezug zur Zeit merklich null für alle Punkte sind, welche in einem endlichen Abstande vom Anfangspunkte der Coordinaten liegen, so werden diese Variable und ihre Ableitungen auch zu Ende der Zeit t keine merklichen Werthe im Innern einer gewissen Oberfläche haben, welche solchergestalt die Oberfläche einer fortschreitenden Welle darstellt, durch die sich die Schall-, Lichtschwingungen u. s. w., für welche die Partialgleichung gilt, fortpflanzen. Die Gleichung dieser Oberfläche wird sich ferner leicht nach folgender Regel erhalten lassen.

Man ersetze in der Partialgleichung eine jede Ableitung der Hauptvariable, welche in Bezug zu den unabhängigen Variabeln x, y, z, t genom-

*) Journal de l'école polyt. cah. XVIII. p. 452.
**) Mém. de l'Acad. 1831. T. X. p. 293.
***) Ich brauche diesen Ausdruck nach Eytelwein.

men ist, durch das Product dieser Variabeln, nachdem man dieselben zu Potenzen erhoben hat, deren Grade für jede unabhängige Variable durch die Anzahl der darauf bezüglichen Differenzirungen bestimmt werden *). Die neue Gleichung, welche man so erhält, wird von der Form

$$F(x, y, z, t) = 0$$

sein, und wird eine gewisse krumme Oberfläche vorstellen. Man betrachte jetzt den Radius vector, der vom Ursprunge zu einem beliebigen Punkte dieser krummen Oberfläche gezogen wird; man trage auf diesen Radius vector vom Ursprung an eine Länge auf, welche gleich dem Quadrat der Zeit, dividirt durch denselben Radius ist, und lege dann durch das Ende dieser Länge eine Ebene senkrecht auf den Radius vector. Diese Ebene wird die Berührungsebene der Wellenoberfläche sein.

---

## V. Über Druck, Zug, Contraction und Dilatation, Spannung, Torsion fester Körper.

Allgemeine Beziehungen zwischen den Druck- oder Zugkräften **) in festen Körpern. Die Betrachtung des Drucks tropfbarer Flüssigkeiten ist bekanntlich eine sehr einfache Sache. Jeder weiß, daß, wenn eine Masse Flüssigkeit sich unter dem Einflusse einer oder mehrerer Druckkräfte, die in ihrem Innern oder auf ihrer Oberfläche wirken, im Gleichgewicht befindet; dann vermöge der Art, wie sich diese Druckkräfte durch die ganze Flüssigkeit fortpflanzen, jeder Punkt einer Ebene, die man durch diese Flüssigkeit legt, einen senkrechten und von der Richtung der Ebene unabhängigen ***) Druck erfährt. Diese Eigenthümlichkeit des Drucks in Flüssigkeiten hängt mit der vollkommenen Beweglichkeit ihrer Theilchen zusammen, und findet sich nicht bei festen Körpern wieder. Die allgemeinen Bedingungen, unter welchen ein fester, sei es elastischer oder nicht elastischer, Körper unter dem Einfluß auf oder in demselben wirksamer Druck- oder auch Zugkräfte im Gleichgewicht sein kann, sind vielmehr viel complicirter und nicht auf so einfache Ausdrücke zu bringen, als bei

*) Also wird man z. B. setzen:

$$x^2\ y^2 \text{ statt } \frac{d^4\varphi}{dx^2\,dy^2}$$

$$x^4 \text{ statt } \frac{d^2\varphi}{d\,x^4}$$

$$x^3 y \text{ statt } \frac{d^4\varphi}{dx^3\,dy}$$

u. s. f.

**) Druckkraft und Zugkraft unterscheiden sich nur durch ihre, in Bezug auf die Punkte, von denen aus sie wirken, entgegengesetzte Richtung.

***) d. h. bei jeder Richtung der Ebene gleich bleibenden.

den Flüssigkeiten. Der Druck oder Zug, den jeder Punkt einer durch den festen Körper gelegten Ebene erfährt, ist im Allgemeinen *nicht senkrecht* auf die Ebene, und seiner Größe nach *nicht unabhängig* von der Richtung der Ebene; vielmehr findet man durch mathematische Betrachtungen folgenden Satz, den ich hier, als in Worten leicht auszusprechen, voranstelle:

Wenn ein fester, sei es elastischer oder nicht elastischer, Körper sich unter dem Einflusse von Druckkräften, die auf seiner Oberfläche oder in seinem Innern wirken, im Gleichgewicht befindet, so erfährt vermöge der Art, wie sich diese Kräfte durch den festen Körper fortpflanzen, ein beliebiger Punkt m einer Ebene, die man durch den Körper legt, verschiedene und verschieden gegen die Ebene gerichtete Druckkräfte, je nachdem man die Ebene um den als fix angenommenen Punkt dreht. Bei einer gewissen Richtung der Ebene wird dieser Druck auf den Punkt m ein *Maximum*, und zugleich senkrecht gegen die Ebene gerichtet sein. Bei einer andern, *auf der vorigen rechtwinklichen*, Richtung wird dieser Druck ein *Minimum*, und wiederum senkrecht gegen die Ebene gerichtet sein, und noch wird es eine *dritte*, auf die vorigen beiden senkrechte, Richtung der Ebene geben, wo der Druck abermals senkrecht gegen die Ebene in m wird; bei *allen andern* Richtungen der Ebene aber wird der Druck *schief* gegen die Ebene gerichtet sein, und zugleich verschiedene Größen erlangen, die sich dem Maximum oder Minimum nach Maßgabe nähern, als die Richtung der Ebene derjenigen Richtung nahe kommt, wo wirklich Maximum und Minimum Statt findet. Was hier für Druckkräfte ausgesagt ist, gilt eben so für Zugkräfte.

Dieser Satz jedoch umfaßt die Beziehungen, die zwischen den Druck- oder Zugkräften (oder beiden zugleich, wenn sie zugleich an einem Körper wirken) zum Gleichgewicht eines festen Körpers erforderlich sind, weder hinlänglich scharf noch vollständig. Diese Beziehungen sind von der Art, daß man, wenn man überhaupt die Größe und Richtung der Druck- oder Zugkräfte, die an demselben Punkte gegen drei auf einander rechtwinkliche Ebenen, die durch diesen Punkt gelegt sind, geäußert werden *), kennt, daraus die Größe des Drucks oder Zugs herleiten kann, welchen eine, durch diesen Punkt nach *beliebiger* Richtung gelegte, Ebene (an demselben Punkte erfährt. *Cauchy* **) hat diese Beziehungen mit möglichster Eleganz entwickelt, und es dürfte bei dem Interesse und der Wichtigkeit, die sie besitzen, manchem nicht unangenehm sein, sie hier mitgetheilt zu finden,

*) Oder, was dasselbe sagt, die an demselben Punkte einer Ebene in drei auf einander rechtwinklichen Lagen desselben (während der Punkt fix bleibt) sich äußern.

**) In s. Exerc. II. 42. III. 161. IV. 30. 41. Zu denselben Resultaten als *Cauchy*, jedoch von eigenthümlichen Betrachtungen aus, werden *Lamé* und *Clapeyron* geführt in Crelle J. VII. 165. 337. und *Poisson* in Mém. de l'Acad. T. VIII. p. 383 ff.; doch hat letzterer diesen Gegenstand bloß beiläufig behandelt. Über den Ausdruck des Drucks und Zugs als Function der Molecularkräfte vergl. *Cauchy*'s Exerc. III. 213.

wiewohl dies nicht ohne einigen Aufwand von mathematischen Zeichen geschehen kann. Hinsichtlich ihrer Herleitung, die nur durch höhere Rechnung geschehen kann, muß ich mich begnügen, auf Cauchy's Abhandlung selbst zu verweisen.

Es mögen im Folgenden bedeuten:

$p'$, $p''$, $p'''$ die Druck- oder Zugkräfte, welche respectiv gegen drei auf einander rechtwinkliche Ebene, die wir als Coordinatenebenen betrachten, an ihrem Durchschnittspunkte O geäußert werden, so daß:

$p'$ die Kraft gegen die Ebene der $yz$
$p''$ die Kraft gegen die Ebene der $xz$
$p'''$ die Kraft gegen die Ebene der $xy$.

Ferner sei:

$p$ die Druck- oder Zugkraft, welche am Punkte O gegen eine durch denselben Punkt gelegte Ebene $s$ geäußert wird, deren Perpendikel, nach der Seite, von welcher die Kraft $p$ wirkt, verlängert, respectiv Winkel

$\alpha$, $\beta$, $\gamma$ mit den Halbaxen der positiven Coordinaten $x$, $y$, $z$ macht.

$\lambda$, $\mu$, $\nu$
$\lambda'$, $\mu'$, $\nu'$
$\lambda''$, $\mu''$, $\nu''$
$\lambda'''$, $\mu'''$, $\nu'''$ } Die Winkel, welche respectiv die Richtungen von $p$, $p'$, $p''$, $p'''$ mit den Halbaxen der positiven Coordinaten $x$, $y$, $z$ bilden, so daß $\lambda$ der Winkel der Kraft $p$ mit der Axe der $x$, $\mu$ der Winkel von $p$ mit der Axe der $y$, $\nu$ der Winkel von $p$ mit der Axe der $z$ ist u. s. f.

$\delta$ der Winkel zwischen dem Perpendikel der Ebene $s$ und der Richtung der Kraft $p$.

A, F, E die Projectionen der Kraft $p'$ auf die Axen der $x$, $y$, $z$, so daß man hat:

$$A = p' \cos \lambda', \quad F = p' \cos \mu', \quad E = p' \cos \nu'$$

F, B, D die drei analogen Projectionen der Kraft $p''$, so daß:

$$F = p'' \cos \lambda'', \quad B = p'' \cos \mu'', \quad D = p'' \cos \nu''$$

E, D, C die drei analogen Projectionen der Kraft $p''$, so daß:

$$E = p'' \cos \lambda'', \quad D = p''' \cos \mu''', \quad C = p''' \cos \nu'''.$$

Es seien ferner:

$p_1$, $p_2$, $p_3$ die Druck- oder Zugkräfte, welche respectiv gegen drei, sich in O rechtwinklich schneidende, mit den Coordinatenebenen nicht zusammenfallende, Ebenen am Punkte O geäußert werden.

$\alpha_1$, $\beta_1$, $\gamma_1$
$\alpha_2$, $\beta_2$, $\gamma_2$
$\alpha_3$, $\beta_3$, $\gamma_3$ } Die Winkel, welche die Perpendikel vorstehender Ebenen respectiv mit den Halbaxen der positiven Coordinaten machen.

𝔄, 𝔉, 𝔈
𝔉, 𝔅, 𝔇
𝔈, 𝔇, ℭ } Die Projectionen von $p_1$, $p_2$, $p_3$ auf die Durchschnittslinien vorstehender Ebenen, (ganz analog den Projectionen A, F, E etc. für die Kräfte $p'$, $p''$, $p'''$ auf die Durchschnittslinien der Coordinatenebenen.)

Man findet dann folgende Bestimmungen:

Digitized by Google

1) Gegenseitige Beziehung zwischen den Projectionen von p′, p″, p‴ auf die Coordinatenaxen

$$p'' \cos\nu'' = p''' \cos\mu'''$$
$$p''' \cos\lambda''' = p' \cos\nu'$$
$$p' \cos\mu' = p'' \cos\lambda''$$

welche Formeln folgenden Satz includiren: Wenn man durch einen beliebigen Punkt O eines festen Körpers zwei sich rechtwinklich schneidende Axen, die wir P und Q nennen wollen, zieht, und auf P den Druck oder Zug projicirt, welchen die durch O senkrecht auf Q gelegte Ebene in O erfährt, so wird die erhaltene Projection denselben Werth haben, als die Projection, welche man durch Vertauschung der Axen erhält, d. h. als diejenige, welche sich ergiebt, wenn man auf Q die Kraft projicirt, welche die durch O senkrecht auf P gelegte Ebene in O erfährt *).

2) Beziehung zwischen den Projectionen von p und denen von p′, p″, p‴ auf die Coordinatenaxen.

$$p \cos\lambda = A \cos\alpha + F \cos\beta + E \cos\gamma$$
$$p \cos\mu = F \cos\alpha + B \cos\beta + D \cos\gamma.$$
$$p \cos\nu = E \cos\alpha + D \cos\beta + C \cos\gamma$$

Diese Werthe von $p \cos\lambda$, $p \cos\mu$, $p \cos\nu$ stimmen in der Form mit den Werthen der rechtwinklichen Composanten der Kraft überein, welche einen materiellen Punkt sollicitirt, der sich in Gegenwart mehrerer fixen Centra von Anziehung oder Abstoßung findet, und sehr wenig entfernt von einer Lage ist, in welcher er inmitten dieser Centra im Gleichgewicht blieb. (Vergl. Cauchy's Exerc. II. p. 57.)

3) Bestimmung der Intensität der Kraft p und ihrer auf s senkrechten Composante $p \cos\delta$, als Function der Projectionen von p′, p″, p‴ auf die Coordinatenaxen.

$$p^2 = (A \cos\alpha + F \cos\beta + E \cos\gamma)^2 + (F \cos\alpha + B \cos\beta + D \cos\gamma)^2 + (E \cos\alpha + D \cos\beta + C \cos\gamma)^2$$

$$p \cos\delta = A \cos^2\alpha + B \cos^2\beta + C \cos^2\gamma + 2D \cos\beta \cos\gamma + 2E \cos\gamma \cos\alpha + 2F \cos\alpha \cos\beta.$$

4) Bestimmung der Haupt-, Druck- oder Zugkräfte. Unter Haupt-Druck-, oder Haupt-Zugkraft wird derjenige Druck oder diejenige Zugkraft verstanden, welche senkrecht ist auf die Ebene, gegen die sie sich äußert, und unter Hauptrichtung wird die Richtung einer solchen Druck- oder Zugkraft verstanden. Jedem Punkt in einem festen Körper entsprechen im Allgemeinen drei auf einander rechtwinkliche Haupt-, Druck- oder Zugkräfte; das heißt, wenn man die Richtung der durch einen beliebigen Punkt O des Körpers gelegten Ebene s fortgehends abändert, so

*) In Exerc. IV. p. 41. wird dieser Satz noch dahin verallgemeinert, daß man, unbeschadet des ganzen übrigen Ausdrucks obigen Satzes statt: zwei sich rechtwinklich schneidende Axen setzen kann: zwei einen beliebigen Winkel mit einander bildende Axen. Der obige Satz wird auch von Lamé und Clapeyron erwiesen in Crelle J. VII. S. 168.

kommt man auf drei auf einander rechtwinkliche Lagen dieser Ebene, in welchen eine senkrechte Druck- oder Zugkraft am Punkt O dagegen wirkt. Unter diesen drei Haupt-, Druck- oder Zugkräften befindet sich das Maximum und das Minimum der Druck- oder Zugkräfte, welche überhaupt an dem Punkte O gegen dadurch gelegte Ebenen wirken.

Die Größe $\varpi$ der drei Haupt-, Druck- oder Zugkräfte, welche um denselben Punkt wirken, wird durch die drei Wurzeln folgender Gleichung des dritten Grades bestimmt:

$$(A-\varpi)(B-\varpi)(C-\varpi) - D^2(A-\varpi) - E^2(B-\varpi) - F^2(C-\varpi) + 2DEF = 0$$

und die Winkel a, b, c, welche die Richtung, nach der $\varpi$ wirkt, mit den Halbaxen der positiven Coordinaten macht, durch folgende Gleichungen:

$$\varpi = \frac{A\cos a + F\cos b + E\cos c}{\cos a} = \frac{F\cos a + B\cos b + C\cos c}{\cos b}$$
$$= \frac{E\cos a + D\cos b + C\cos c}{\cos c}$$

Ellipsoide oder Hyperboloide der Druck- und Zugkräfte. Wenn man von dem Punkt O nach allen Richtungen radios vectores zieht, und auf jedem dieser Radien eine Länge r (vom Punkte O an) nimmt, welche gleich ist der Einheit, dividirt durch den Druck oder Zug, welcher sich am Punkte O gegen die Ebene äußert, die senkrecht auf den Radius vector durch O gelegt wird $\left(r = \frac{1}{p}\right)$, so wird durch die so bestimmten Enden dieser Radien die Oberfläche eines Ellipsoids bestimmt, welches folgende Gleichung hat:

$$(Ax + Fy + Ez)^2 + (Fx + By + Dz)^2 + (Ex + Dy + Cz)^2 = 1 \quad (a);$$

die Axen dieses Ellipsoids fallen in die Hauptrichtungen und sind den Haupt-, Druck- oder Zugkräften, die nach diesen Richtungen wirken, umgekehrt proportional.

Nimmt man statt jener Länge auf jeder der, um den Punkt O gezogenen, Radien vielmehr eine Länge r, deren Quadrat den numerischen Werth der Einheit, dividirt durch die Projection der Druck- oder Zugkraft *) auf den Radius vector darstellt $\left(r^2 = \pm \frac{1}{p\cos\delta}\right)$, so wird durch die so bestimmten Enden dieser Radien die Oberfläche eines andern Ellipsoids bestimmt, das in dem Falle, wo $p\cos\delta$ nach allen Richtungen um O eine Zugkraft ist, folgende Gleichung hat:

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + 2Dyz + 2Ezx + 2Fxy = 1 \quad (b)$$

in dem Falle aber, wo $p\cos\delta$ nach allen Richtungen um den Punkt O eine Druckkraft ist, durch folgende:

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + 2Dyz + 2Ezx + 2Fxy = -1 \quad (c)$$

die Axen dieser Ellipsoide fallen ebenfalls in die Hauptrichtungen.

*) Derjenigen nämlich, welche sich am Punkte O gegen die Ebene äußert, die senkrecht auf den Radius vector durch O gelegt wird.

In dem Falle, wo $p \cos \delta$ nach manchen Richtungen um den Punkt O eine Zugkraft, nach andern eine Druckkraft wäre, würde man statt eines Ellipsoids ein System zweier conjugirten Hyperboloide erhalten, deren eines durch die Gleichung (b), das andere durch die Gleichung (c) ausgedrückt wird. Das erste dieser Hyperboloide hat eine einzige Schale (nappe), das zweite zwei Schalen. Sie haben denselben Mittelpunkt und werden im Unendlichen durch eine und dieselbe Kegelfläche des zweiten Grades berührt. Je nachdem sich das Ende des Radius vector auf dem einen oder andern dieser Hyperboloide befindet, wird die Kraft eine Zugkraft oder eine Druckkraft sein, und wird jedesmal da verschwinden, wo der Radius vector die Richtung einer Generatrix der berührenden Kegelfläche hat.

Im Falle die drei Haupt-, Druck- oder Zugkräfte einander gleich werden, verwandeln sich die drei Ellipsoide (a), (b), (c) in Kugeln; es findet dann Gleichheit des Drucks oder Zugs nach allen Richtungen Statt, und jeder Druck oder Zug ist senkrecht auf die Ebene, die ihn zu erleiden hat; so daß man hiedurch auf den Fall der Flüssigkeiten zurückgeführt wird. Ferner ergiebt sich, daß dieser letzte Umstand (des allenthalben senkrechten Zugs oder Drucks) in wesentlichem Bezug mit der Gleichheit des Drucks oder Zugs nach allen Richtungen steht, so daß sie sich stets wechselseitig begleiten. — Was aus den Ellipsoiden und Hyperboloiden (a), (b), (c) wird, wenn blos zwei Haupt-, Druck- oder Zugkräfte einander gleich werden, oder eine oder zwei dieser Hauptkräfte verschwinden, ergiebt sich eben so ohne Schwierigkeit nach der bekannten Umgestaltung, welche diese Flächen durch die entsprechenden Suppositionen für ihre Axen erfahren müssen.

Aus Betrachtung des Ellipsoids (a) läßt sich noch nachstehendes Theorem folgern:

Wenn man durch einen gegebenen Punkt O eines festen Körpers beliebig drei unter einander rechtwinkliche Ebenen legt, so wird die Summe der Quadrate der Druck- oder Zugkräfte, welche diese Ebenen an dem Punkte O erleiden, eine constante Größe sein, gleich der Summe der Quadrate der Haupt-, Druck- oder Zugkräfte *).

**Beziehung zwischen den Projectionen A, B, C etc. und den Projectionen $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$ etc.**

$$\mathfrak{A} = A\cos^2\alpha_1 + B\cos^2\beta_1 + C\cos^2\gamma_1 + 2\,D\cos\beta_1\cos\gamma_1 + 2\,E\cos\gamma_1\cos\alpha_1 + 2\,F\cos\alpha_1\cos\beta_1,$$

$$\mathfrak{B} = A\cos^2\alpha_2 + B\cos^2\beta_2 + C\cos^2\gamma_2 + 2\,D\cos\beta_2\cos\gamma_2 + 2\,E\cos\gamma_2\cos\alpha_2 + 2\,F\cos\alpha_2\cos\beta_2,$$

$$\mathfrak{C} = A\cos^2\alpha_3 + B\cos^2\beta_3 + C\cos^2\gamma_3 + 2\,D\cos\beta_3\cos\gamma_3 + 2\,E\cos\gamma_3\cos\alpha_3 + 2\,F\cos\alpha_3\cos\beta_3;$$

*) Denselben Satz folgern Lamé und Clapeyron in Crelle J. VII. S. 168.

$$\mathfrak{D} = A\cos\alpha_2\ \cos\alpha_3 + B\cos\beta_2\ \cos\beta_3 + C\cos\gamma_2\ \cos\gamma_3$$
$$+ D(\cos\beta_2\ \cos\gamma_3 + \cos\beta_3\ \cos\gamma_2) + E(\cos\gamma_2\ \cos\alpha_3$$
$$+ \cos\gamma_3\ \cos\alpha_2) + F(\cos\alpha_2\ \cos\beta_3 + \cos\alpha_3\ \cos\beta_2),$$
$$\mathfrak{E} = A\cos\alpha_3\ \cos\alpha_1 + B\cos\beta_3\ \cos\beta_1 + C\cos\gamma_3\ \cos\gamma_1$$
$$+ D(\cos\beta_3\ \cos\gamma_1 + \cos\beta_1\ \cos\gamma_3) + E(\cos\gamma_3\ \cos\alpha_1$$
$$+ \cos\gamma_1\ \cos\alpha_3) + F(\cos\alpha_3\ \cos\beta_1 + \cos\alpha_1\ \cos\beta_3),$$
$$\mathfrak{F} = A\cos\alpha_1\ \cos\alpha_2 + B\cos\beta_1\ \cos\beta_2 + C\cos\gamma_1\ \cos\gamma_2$$
$$+ D(\cos\beta_1\ \cos\gamma_2 + \cos\beta_2\ \cos\gamma_1) + E(\cos\gamma_1\ \cos\alpha_2$$
$$+ \cos\gamma_2\ \cos\alpha_1) + F(\cos\alpha_1\ \cos\beta_2 + \cos\alpha_2\ \cos\beta_1).$$

$$A = \mathfrak{A}\cos^2\alpha_1 + \mathfrak{B}\cos^2\alpha_2 + \mathfrak{C}\cos^2\alpha_3 + 2\,\mathfrak{D}\cos\alpha_2\ \cos\alpha_3$$
$$+ 2\,\mathfrak{E}\cos\alpha_3\ \cos\alpha_1 + 2\,\mathfrak{F}\cos\alpha_1\ \cos\alpha_2,$$
$$B = \mathfrak{A}\cos^2\beta_1 + \mathfrak{B}\cos^2\beta_2 + \mathfrak{C}\cos^2\beta_3 + 2\,\mathfrak{D}\cos\beta_2\ \cos\beta_3$$
$$+ 2\,\mathfrak{E}\cos\beta_3\ \cos\beta_1 + 2\,\mathfrak{F}\cos\beta_1\ \cos\beta_2,$$
$$C = \mathfrak{A}\cos^2\gamma_1 + \mathfrak{B}\cos^2\gamma_2 + \mathfrak{C}\cos^2\gamma_3 + 2\,\mathfrak{D}\cos\gamma_2\ \cos\gamma_3$$
$$+ 2\,\mathfrak{E}\cos\gamma_3\ \cos\gamma_1 + 2\,\mathfrak{F}\cos\gamma_1\ \cos\gamma_2;$$
$$D = \mathfrak{A}\cos\beta_1\ \cos\gamma_1 + \mathfrak{B}\cos\beta_2\ \cos\gamma_2 + \mathfrak{C}\cos\beta_3\ \cos\gamma_3$$
$$+ \mathfrak{D}(\cos\beta_2\ \cos\gamma_3 + \cos\beta_3\ \cos\gamma_2) + \mathfrak{E}(\cos\beta_3\ \cos\gamma_1$$
$$+ \cos\beta_1\ \cos\gamma_3) + \mathfrak{F}(\cos\beta_1\ \cos\gamma_2 + \cos\beta_2\ \cos\gamma_1),$$
$$E = \mathfrak{A}\cos\gamma_1\ \cos\alpha_1 + \mathfrak{B}\cos\gamma_2\ \cos\alpha_2 + \mathfrak{C}\cos\gamma_3\ \cos\alpha_3$$
$$+ \mathfrak{D}(\cos\gamma_2\ \cos\alpha_3 + \cos\gamma_3\ \cos\alpha_2) + \mathfrak{E}(\cos\gamma_3\ \cos\alpha_1$$
$$+ \cos\gamma_1\ \cos\alpha_3) + \mathfrak{F}(\cos\gamma_1\ \cos\alpha_2 + \cos\gamma_2\ \cos\alpha_1),$$
$$F = \mathfrak{A}\cos\alpha_1\ \cos\beta_1 + \mathfrak{B}\cos\alpha_2\ \cos\beta_2 + \mathfrak{C}\cos\alpha_3\ \cos\beta_3$$
$$+ \mathfrak{D}(\cos\alpha_2\ \cos\beta_3 + \cos\alpha_3\ \cos\beta_2) + \mathfrak{E}(\cos\alpha_3\ \cos\beta_1$$
$$+ \cos\alpha_1\ \cos\beta_3) + \mathfrak{F}(\cos\alpha_1\ \cos\beta_2 + \cos\alpha_2\ \cos\beta_1).$$

Aus letzteren Gleichungen läßt sich (unter Berücksichtigung der Beziehungen, durch welche die Winkel verknüpft sind) folgern:

$$A + B + C = \mathfrak{A} + \mathfrak{B} + \mathfrak{C}\ ^{*)}.$$

**Dimensions- und Volumenänderungen elastischer homogener Saiten, Membranen, Körper, bei darauf wirkendem Druck oder Zug, nach mathematischen Untersuchungen von Poisson **).**

Im Folgenden wird vorausgesetzt, daß die Dimensions- oder Volumenänderungen nur sehr klein in Verhältniß zu den absoluten Dimensionen der Körper sind, und daß sie innerhalb der Gränzen Statt finden, innerhalb deren der Körper beim Nachlaß der drückenden oder ziehenden Kraft wieder zu seinen ursprünglichen Dimensionen zurückkehrt (innerhalb der Gränzen der vollkommnen Elasticität).

Es wird ferner angenommen, daß außer den in Betracht zu ziehenden Druckkräften und Zugkräften keine andern dergleichen Kräfte auf die Kör-

*) Diese Folgerung finde ich nicht von Cauchy angeführt. Lamé und Clapeyron haben sie (Crelle J. VII. 167.) auf eigenthümlichem Wege hergeleitet.

**) Mém. de l'Acad. des sc. 1829. T. VIII. p. 357 ff.; theilweis auch Pogg. XIV. 177.

per wirken. Der Buchstabe $\varkappa$ bedeutet im Folgenden stets denselben, von dem Elasticitätszustande des Körpers abhängigen, für jeden Körper bei constanter Temperatur constanten, für verschiedene Körper aber verschiedenen, im umgekehrten Verhältnisse ihrer Compressibilität stehenden, Coefficienten.

Übrigens gelten für die Dilatation durch Zug ganz dieselben Gesetze, als für Contraction durch Druck:

1) Wenn eine gerade dünne verticale Saite, Stab oder Draht von der anfänglichen Länge l und dem constanten Querschnitte $\omega$, die mit dem obern Ende befestigt ist, am untern Ende durch das Gewicht p gespannt wird, so wird die absolute Verlängerung $\alpha$, oder die relative Verlängerung $\delta$ (d. i. die Verlängerung, in Theilen der ursprünglichen Länge ausgedrückt), die sie hiebei erfährt, durch folgende Gleichungen bestimmt:

$$\alpha = \frac{2}{5}\frac{lp}{\varkappa\omega}\ ;\ \delta = \frac{2}{5}\frac{p}{\varkappa\omega} \qquad (1)$$

hiebei ist vorausgesetzt, daß das Gewicht der Saite, des Stabes oder Drahts gegen das Gewicht p vernachlässigt werden könne. Im Fall es dagegen im Betracht käme, hätte man folgende genauere Formel anzuwenden:

$$\alpha = \frac{2}{5}\frac{l\left(p+\frac{p'}{2}\right)}{\varkappa\omega}\ ;\ \delta = \frac{2}{5}\frac{\left(p+\frac{p'}{2}\right)}{\varkappa\omega} \qquad (2)$$

wo p′ das Gewicht der Saite oder des Drahts bedeutet.

Wäre die Saite (Stab oder Draht) horizontal und an beiden Enden frei; es wirkte aber an jedem Ende eine Zugkraft = p nach der Längen-Richtung der Saite (mithin im Ganzen 2 p), so würden ebenfalls die Formeln (1) Statt finden; d. h. man würde auch hier haben:

$$\alpha = \frac{2}{5}\frac{lp}{\varkappa\omega}\ ;\ \delta = \frac{2}{5}\frac{p}{\varkappa\omega}$$

(Mém. p. 430.)

2) Während Saite, Stab oder Draht solchergestalt im Verhältniß von $1 : 1 + \delta$ verlängert wird, nimmt zugleich ihr Durchmesser (wofern von einem Cylinder die Rede ist) im Verhältniß $1 : 1 + \frac{\delta}{4}$ ab und ihr Volumen im Verhältniß von $1 : 1 + \frac{\delta}{2}$ oder genauer im Verhältniß von $1 : \left(1 - \frac{\delta}{4}\right)^2 (1 + \delta)$ zu *). (Mém. p. 451.)

*) Einen Satz von größerer Allgemeinheit als den obigen, der sich mehreren Suppositionen fügt, hat Cauchy aus seinen Untersuchungen abgeleitet. (Cauchy Exerc. III. p. 182.) Unter Voraussetzung nämlich, daß Linearverlängerung $\delta$ und Volumenvergrößerung $v$ des Drahts, in Theilen der ursprünglichen Länge oder Volums ausgedrückt, mit der Größe des ziehenden Gewichts $\varpi$ in folgender allgemeiner Beziehung steht,

$$\varpi = \varkappa\delta + Kv$$

wo $\varkappa$ und $K$ positive Constanten sind, die von der Materie des Drahts abhän-

Durch Versuche Cagniard Latours ist dieser Satz bestätigt worden. (Ann. de Ch. et de Ph. XXXVI. 384; oder Pogg. XII. 516.)

3) Man kann die lineare Verlängerung $\alpha$, die ein vollkommen biegsamer Draht oder dergleichen Saite von der Länge l durch ein gegebenes Gewicht erfährt, aus dem Verhältniß der Schwingungszahlen, die seinem longitudinalen und transversalen Grundtone zukommen, während er durch dieses Gewicht gespannt ist, nach folgender Formel ableiten:

$$\alpha = \frac{l\,N'^2}{N^2}$$

hierin ist N die Anzahl der longitudinalen Schwingungen, N' die der transversalen Schwingungen der Saite in der Zeiteinheit, während sie durch das Gewicht, welches die Verlängerung bewirkt, gespannt ist. (Mém. p. 437.)

4) Wenn an dem Umkreise einer dünnen Membran oder Platte von der Dicke $\varepsilon$ und beliebig gestaltetem Umkreise eine Druck- oder Zugkraft C in der Richtung der Ebene der Membran oder Platte, überall senkrecht auf ihren Umkreis und allenthalben gleichförmig wirkt, so wird die lineare (relative) Dilatation $\delta$, die sie nach jeder Richtung des Zuges erfährt, durch folgende Gleichung bestimmt:

$$\delta = \frac{3\;C}{10\;\varepsilon\varkappa}$$

Ist die Membran oder Platte kreisförmig und hat den Radius l, so wird die absolute lineare Dilatation $\alpha$ sein:

$$\alpha = \frac{3\;Cl}{10\;\varepsilon\varkappa}$$

5) Während die linearen Dimensionen einer dünnen Membran oder Platte von beliebig gestaltetem Umfange in der Richtung ihrer Fläche durch eine, auf die unter 4) angegebene Weise wirkende, Kraft, im Verhältniß von $1 : 1+\delta$, mithin der Flächenraum im Verhältniß von $1 : (1+\delta)^2$ zunimmt, wird zugleich die Dicke im Verhältniß $1 : 1-\frac{2\delta}{3}$ abnehmen und das Volumen im Verhältniß von $1 : 1+\frac{4\delta}{3}$ oder genauer im Verhältniß von

gen, findet man, daß, wenn die Länge des Drahts durch das Gewicht um $\delta$ verlängert wird, zugleich sein Durchmesser um

$$\frac{K\delta}{\varkappa + 2K}$$

abnimmt, und sein Volumen um

$$\frac{\varkappa\delta}{\varkappa + 2K}$$

zunimmt. Wenn man $\varkappa = 2K$ setzt, so harmoniren diese Formeln mit den von Poisson gegebenen.

$$1 : (1+\delta)^2 \left(1 - \frac{2\delta}{3}\right)$$

zunehmen (Mém. p. 531.).

6) Wenn allenthalben senkrecht auf die Oberfläche eines Körpers von beliebiger Form, dessen Oberfläche $= \omega$ ist, eine gleichförmig vertheilte Druck- oder Zugkraft, deren Gesammtgröße N ist, wirkt, so wird die relative lineare Dilatation oder Condensation $\delta$, welche er hiebei erfährt, durch folgende Gleichung bestimmt:

$$\delta = \frac{N}{5\, \varkappa\, \omega}$$

Zugleich wird sich sein Volumen im Verhältniß von $1 : 1 \pm 3\delta$ ändern; wo das obere Zeichen im Fall stattfindender Dilatation, das untere im Fall stattfindender Contraction gilt. (Mém. p. 402.)

7) Wenn auf die Oberfläche eines Körpers ein allenthalben gleichförmiger und allenthalben senkrechter Druck wirkt, so wird jede Durchschnittsebene, die man sich durch einen solchen Körper gelegt denkt, einen ebenfalls senkrechten Druck erfahren, der dem äußern Drucke (für gleiche Flächeneinheit) gleich ist. (Mém. p. 402.)

8) Wenn auf die ganze Oberfläche eines Körpers von beliebiger Form ein Druck ausgeübt wird, und dieser eine lineare Contraction $\delta$ hervorbringt, so bewirkt derselbe Druck (auf die Einheit der Oberfläche bezogen), wenn er auf die Enden eines Stabs von gleicher Substanz, dessen Seitenfläche gänzlich frei ist, nach der Richtung der Axe des Stabes wirkt, eine doppelte oder $2\delta$ gleiche Contraction nach der Richtung der Länge. (Mém. p. 498. Pogg. XIV. 181.)

9) Es sei eine hohle, homogene Kugel, deren hohle Hülle überall gleich dick ist, Druckkräften, die von Innen und Außen darauf wirken, ausgesetzt. Die Änderungen, welche der äußere und innere Radius dadurch erleidet, lassen sich dann folgendergestalt bestimmen.

Vor dieser Änderung sei a die Länge des äußern, a′ die des innern Radius; h der äußere, h′ der innere Druck, bezogen auf die Flächeneinheit. A sei der äußere, A′ der innere Radius nach der Zusammendrückung. Dann hat man:

$$A = a - \frac{(h a^3 - h' a'^3) a}{5 \varkappa (a^3 - a'^3)} - \frac{(h - h') a a'^3}{4 \varkappa (a^3 - a'^3)} \qquad (3)$$

$$A' = a' - \frac{(h a^3 - h' a'^3) a'}{5 \varkappa (a^3 - a'^3)} - \frac{(h - h') a^3 a'}{4 \varkappa (a^3 - a'^3)} \qquad (4)$$

Im Falle $h = h'$ ist, reduciren sich diese Werthe von A und A′ auf:

$$A = a - \frac{h a}{5 \varkappa}\,;\ A' = a' - \frac{h a'}{5 \varkappa} \qquad (5)$$

Der von A bleibt noch der nämliche, wenn man $a' = o$ setzt, welches zeigt, daß eine hohle Kugel, welche von Außen und Innen gleich stark gedrückt wird, dieselbe Verkürzung $\frac{h a}{5 \varkappa}$ des Radius erleidet, als wenn die Kugel ganz massiv wäre.

Ist die Dicke $a - a'$ sehr klein und bezeichnet man sie mit $\alpha$, so wie mit $\beta$ den mittlern Radius $\frac{1}{2}(a + a')$, so hat man sehr nahe für den mittleren Radius $\frac{1}{2}(A + A')$ und für die Dicke $A - A'$ nach der Zusammendrückung:

$$\tfrac{1}{2}(A + A) = \beta - \frac{3(h - h')\beta^2}{20\,\varkappa\alpha} - \frac{(h + h')\beta}{10\,\varkappa} \qquad (6)$$

$$A - A' = \alpha + \frac{(h - h')\beta}{10\,\varkappa} \qquad (7)$$

(Ann. de Ch. et de Ph. XXXVIII. 330. Pogg. XIV. 177.)

10) Wenn eine Kugel Flüssigkeit oder fester Substanz, deren Radius vor dem Druck $a'$ ist, von einer festen kugelförmigen Hülle eingeschlossen wird, deren innerer Radius vor dem Druck $a'$, der äußere $a$ ist, und wenn von der Oberfläche der innern Kugel aus ein eben so starker Druck $h$ (auf die Einheit der Oberfläche bezogen) auf die innere Oberfläche der festen Hülle wirkt, als von Außen auf die äußere Oberfläche der Hülle geäußert wird, so ist der Radius $A'$ der innern Kugel nach dem Druck

$$A' = a' - \frac{9h\,a^3\,a'}{5\,D} \qquad (8)$$

$$\text{wo } D = \varkappa'(5a^3 + 4a'^3) + 4\varkappa(a^3 - a'^3)$$

$\varkappa'$ ist hierin dasselbe für die Substanz der innern Kugel, was $\varkappa$ für die der äußern ist. Da man nun für den Fall, daß ein Druck $h$ ohne Gegenwart der äußern Hülle auf die innere Kugel wirkte, haben würde.

$$A' = a' - \frac{h\,a'}{5\varkappa'} \qquad \text{(Vergl. Satz 9)}$$

so erhellt, daß die Verkürzung des Radius der innern Kugel ohne Hülle, zur Verkürzung des Radius derselben Kugel mit Hülle sich verhält wie:

$$D : 9\varkappa' a^3.$$

Nun ist $D <$ oder $> 9\varkappa' a^3$, je nachdem $\varkappa' >$ oder $< \varkappa$, d. i. je nachdem die Substanz der innern Kugel weniger oder mehr compressibel ist als die Substanz der Hülle; mithin wird die Verkürzung des Radius der innern Kugel größer sein ohne die Hülle als mit der Hülle, wenn die Substanz der innern Kugel compressibler ist als die der kugelförmigen Hülle, kleiner im Gegenfalle. (Ann. de Ch. et de Ph. XXXVIII. 330. Pogg. XIV. 177.)

11) Es sei eine dünne kreisförmige Platte vom Radius $l$, der constanten Dicke $2\,\varepsilon$ und dem Gewicht $P$ in ursprünglich horizontaler Lage gegeben, deren Rand entweder vertical angestemmt (so daß die Punkte des Randes sich nicht auf noch abwärts bewegen können), oder unveränderlich befestigt ist. Auf die obere Fläche dieser Platte lasse man nun einen allenthalben gleichförmigen und überall senkrechten Druck, dessen Totalgröße $\varpi$ ist, wirken; dann wird die Platte eine Concavität nach unten annehmen. Die Tiefe dieser Concavität, d. h. der verticale Abstand $f$ zwischen dem

tiefsten Punkte der Platte und der ursprünglichen Ebene der Platte wird durch folgende Gleichungen bestimmt:

Wir wollen f für den Fall beibehalten, wo die Platte am Rande blos vertical angestemmt ist, und denselben Buchstaben, mit einem Strichelchen versehen, für den andern Fall, wenn sie am Rande unveränderlich befestigt ist. Man findet dann:

$$f = \frac{21\ hl^2}{\varepsilon^3}(P + \varpi)\ ;\ f' = \frac{5\ hl^2}{\varepsilon^3}(P + \varpi) \qquad (9)$$

$$\text{wo } h = \frac{9}{5120\ \pi\varkappa}\ ;\ \pi = 3{,}14159.$$

(Mém. p. 551.)

12) Im Fall dieselben Umstände als unter 11) Statt finden; das Gewicht $\varpi$ aber, anstatt gleichförmig über die ganze Oberfläche der Platte vertheilt zu sein, blos in dem Mittelpunkte derselben wirkt, hat man

$$f = \frac{21\ hl^2}{\varepsilon^3}\left(P + \frac{52\ \varpi}{21}\right),\ f' = \frac{5\ hl^2}{\varepsilon^3}(P + 4\varpi) \qquad (10)$$

Vergleicht man diese Werthe mit den unter 11) gegebenen, so sieht man, daß dasselbe Gewicht $\varpi$ eine größere Concavität erzeugt, wenn es im Mittelpunkte der Platte angebracht ist, als wenn es gleichförmig über die ganze Oberfläche derselben vertheilt ist; und zwar verhält sich f im ersten Falle zu f im zweiten Falle

$$= 21\ (p + \varpi) : 21\ p + 52\ \varpi$$

Ferner sieht man, daß sowohl in 11) als 12) die Werthe von $f' < f$ sind. (Mém. p. 553.)

13) Wenn eine kreisförmige Platte derselben Art und in gleicher ursprünglicher Lage als unter 11) und 12) in ihrem Mittelpunkte, im Niveau des Umkreises, unterstützt wird, so daß der Mittelpunkt sich nicht unter das Niveau des Randes senken kann, und die Platte ihrem eigenen Gewicht ohne anderweite Druckkräfte überlassen bleibt, so vertheilt sich der Druck, den das Gewicht der Platte ausübt, zwischen Mitte und Rand im Verhältniß von 21 : 31, wenn die Platte am Rande blos vertical angestemmt ist, im Verhältniß von 1 : 3 aber, wenn sie am Rande unveränderlich befestigt ist. (Mém. p. 554.)

## Allgemeine Sätze über die Ausdehnung und Zusammenziehung fester Körper, von A. Cauchy *).

Für den ersten Anblick möchte es zwar scheinen, daß, wenn ein Körper sich ausdehnt oder zusammenzieht, dabei beliebige Beziehungen für die Lagenveränderungen der kleinsten Theilchen Statt finden können. Eine mathematische Betrachtung des Problems lehrt indeß, daß dem nicht so sei;

*) Das Obige enthält die in Worten ausgedrückten Resultate zweier physikalisch-mathematischer Abhandlungen Cauchy's in seinen Exercices de Mathematiques II. 60—69. und III. 237—244. Diese Resultate gelten für jede beliebige Art von Contraction und Dilatation, sei sie nun durch Druck, Zug, Kälte, Wärme oder dergl. hervorgebracht.

daß vielmehr, welcherlei Art auch die zusammenziehende oder ausdehnende Ursache sein möge, doch gewisse Beziehungen dabei stets obwalten müssen, vorausgesetzt, daß man nicht durch besondere hinzukommende Kräfte, welche etwa einzelne Theilchen unabhängig von den andern (während Ausdehnung und Zusammenziehung nur auf gegenseitiger Veränderung des Lagenverhältnisses der Theilchen beruhen) zu bewegen vermöchten, diese Beziehungen stört. In der That hat Cauchy durch eine sehr elegante mathematische Analyse folgende Sätze hergeleitet. Verstehen wir darin unter erstem Zustande eines Körpers denjenigen Zustand desselben, von dem die Betrachtung anhebt, unter zweitem Zustande den, in welchem er sich befindet, nachdem er vom ersten Zustande an eine beliebige Ausdehnung oder Zusammenziehung erfahren hat.

1) Man betrachte im ersten Zustande des Körpers ein kugelförmiges Volumenelement (in dem man sich jedoch noch eine große Menge kleinster Theilchen vorstellen muß). Wenn der Körper durch irgend eine Ursache eine nach verschiedenen Richtungen verschiedene Ausdehnung oder Zusammenziehung erfährt, oder auch nach gewissen Richtungen eine Ausdehnung, nach andern eine Zusammenziehung, so wird, ohne bestimmte gegebene Verhältnisse dieser Ausdehnung oder Zusammenziehung nach den verschiedenen Richtungen vorauszusetzen, jedenfalls sich das kugelförmige Element in ein ellipsoidisches verwandeln, in welchem die Lage und Größe der Axen von der Größe der linearen Dilatationen oder Contractionen nach den verschiedenen Richtungen abhängt. Diese Abhängigkeitsverhältnisse sind von Cauchy in seinen Abhandlungen genau entwickelt, und unten anmerkungsweise beigefügt worden *).

*) Die Gleichung des kugelförmigen Elements (in rechtwinklichen Coordinaten) vom Mittelpunkte aus sei:

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = 1$$

so wird die Gleichung des Ellipsoids, in das es sich verwandelt, sein:

$$Ax'^2 + By'^2 + Cz'^2 + 2Dy'z' + 2Ez'x' + 2Fx'y' = 1$$

hierin sind A, B, C, D, E, F auf folgende Weise als Funktionen der Coordinaten und Ortsveränderungen des Theilchens, welches den Mittelpunkt einnimmt, bestimmt. Es seien x, y, z die rechtw. Coordinaten dieses Theilchens im zweiten Zustande, $x-\xi$, $y-\eta$, $z-\zeta$ die Coordinaten desselben im ersten Zustande, mithin $\xi$, $\eta$, $\zeta$ die den Axen der x, y, z parallelen Ortsveränderungen im Übergange vom ersten zum zweiten Zustande, so hat man:

$$A = \left(\frac{d\xi}{dx} - 1\right)^2 + \left(\frac{d\eta}{dx}\right)^2 - \left(\frac{d\zeta}{dx}\right)^2$$

$$B = \left(\frac{d\zeta}{dy}\right)^2 + \left(\frac{d\eta}{dy} - 1\right)^2 + \left(\frac{d\zeta}{dy}\right)^2$$

$$C = \left(\frac{d\xi}{dz}\right)^2 + \left(\frac{d\eta}{dz}\right)^2 + \left(\frac{d\zeta}{dz} - 1\right)^2$$

$$D = \frac{d\xi}{dy}\frac{d\xi}{dz} + \left(\frac{d\eta}{dy} - 1\right)\frac{d\eta}{dz} + \frac{d\zeta}{dy}\left(\frac{d\zeta}{dz} - 1\right)$$

Cauchy nennt die drei Ausdehnungen oder Zusammenziehungen, welche nach der Richtung dieser Axen erfolgen, und unter welchen sich das Maximum und Minimum derselben findet, Hauptausdehnungen oder Hauptzusammenziehungen (Dilatations ou condensations principales), und die Richtungen, nach denen sie Statt haben, Hauptrichtungen.

2) Betrachten wir im ersten Zustande des Körpers Theilchen a, die sich auf einem und demselben Durchmesser des kugelförmigen Elements, und Theilchen b, die sich in einer und derselben, auf diesen Durchmesser senkrechten, durch den Mittelpunkt des Elements gelegten, Ebene befinden: im zweiten Zustande des Körpers werden sich die Theilchen a auf einem und demselben Durchmesser des Ellipsoids befinden, in das sich die Kugel verwandelt hat, die Theilchen b in einer und derselben Diametralebene, welche den Berührungsebenen parallel ist, die durch die Enden dieses letztern Durchmessers an das Ellipsoid gelegt werden.

3) Man betrachte im ersten Zustande des Körpers Theilchen a, die sich auf einer gewissen beliebigen Oberfläche, und Theilchen b, die sich auf einer Curve, welche diese Oberfläche rechtwinklich schneidet, befinden. Damit diese Theilchen a und b sich im zweiten Zustande des Körpers ebenfalls noch respectiv auf einer Oberfläche und einer Curve, welche sich rechtwinklich schneiden, befinden, ist erfoderlich und hinreichend, daß die Tangente, welche an die zweite Curve durch den Punkt gelegt wird, wo diese der

$$E = \frac{d\xi}{dz}\left(\frac{d\xi}{dx} - 1\right) + \frac{d\eta}{dz}\frac{d\eta}{dx} + \left(\frac{d\zeta}{dz} - 1\right)\frac{d\zeta}{dx}$$

$$F = \left(\frac{d\xi}{dx} - 1\right)\frac{d\xi}{dy} + \frac{d\eta}{dx}\left(\frac{d\eta}{dy} - 1\right) + \frac{d\zeta}{dx}\frac{d\zeta}{dy}$$

Die drei Axen des Ellipsoids werden durch folgende (blos reale Wurzeln gebende) Gleichung des dritten Grades bestimmt:

$$(A-\theta)(B-\theta)(C-\theta) - D^2(A-\theta) - E^2(B-\theta)$$
$$- F^2(C-\theta) + 2DEF = o$$

Nennen wir nämlich die drei Wurzeln dieser Gleichung $\theta'$, $\theta''$, $\theta'''$, so haben wir als Werth der drei Axen:

$$\frac{1}{\sqrt{\theta'}}, \quad \frac{1}{\sqrt{\theta''}}, \quad \frac{1}{\sqrt{\theta'''}}$$

Die Winkel $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, welche eine beliebige der drei Axen mit den Axen der positiven x, y und z bildet, werden durch folgende Gleichungen gegeben:

$$\frac{A\cos\alpha + F\cos\beta + E\cos\gamma}{\cos\alpha} = \frac{F\cos\alpha + B\cos\beta + D\cos\gamma}{\cos\beta}$$

$$= \frac{E\cos\alpha + D\cos\beta + C\cos\gamma}{\cos\gamma} = \theta$$

$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$$

Die vorigen Gleichungen vereinfachen sich, wenn man die Axen des Ellipsoids den Axen der x, y, z für parallel annimmt, indem man dann hat:

$$D = o, \quad E = o, \quad F = o$$
$$\theta' = A, \quad \theta'' = B, \quad \theta''' = C.$$

zweiten Oberfläche begegnet, in eine der drei Hauptrichtungen falle, welche um diesen Punkt (als Mittelpunkt eines Volumenelements betrachtet), Statt haben.

4) Man betrachte im ersten Zustande des Körpers zwei Theilchen, deren eins in, das andre nahe an der freien Oberfläche des Körpers liegt, und deren Verbindungslinie senkrecht auf die freie Oberfläche des Körpers ist. Ihre Verbindungslinie wird auch noch im zweiten Zustande die Oberfläche rechtwinklich schneiden, wofern der Körper während des übergangs aus dem ersten in den zweiten Zustand einen senkrechten oder keinen Druck erfährt, und wofern seine Elasticität nach allen Richtungen gleich ist.

5) Wenn eine sehr dünne und ursprünglich zwischen zwei parallelen Ebenen begriffene, nach allen Richtungen gleich elastische, Platte auf die ein senkrechter oder kein Druck wirkt, Verdichtungen oder Ausdehnungen erfährt, so daß sich ihre Gestalt nur sehr wenig dabei ändert (wie, wenn man eine Platte in Schallschwingung versetzt), so werden sich zwei, im ersten Zustande auf einem, beiden Ebenen gemeinschaftlichen, Perpendikel befindliche, Theilchen nach der Gestaltveränderung der Platte auf einer Geraden befinden, welche merklich senkrecht auf beiden krummen Oberflächen ist, in welche sich die ebenen Oberflächen verwandelt haben.

6) Der vorige Satz gilt auch, wenn die beiden freien Oberflächen ursprünglich krumm sind, und die elastische Platte eine constante sehr kleine Dicke hat, insofern die Theilchen, welche im ersten Zustande auf einer Geraden lagen, die auf beiden Oberflächen merklich senkrecht war, auch im zweiten Zustande noch auf einer solchen Geraden liegen werden.

7) Wenn ein Körper zu verschiedenen Zeitpunkten Ausdehnungen oder Zusammenziehungen erfährt, die sehr klein sind (wie die gewöhnlichen der festen Körper durch Wärme oder Kälte), so wird die definitive Ausdehnung oder Zusammenziehung, welche ein Volumenelement des Körpers erleidet, die Summe der Ausdehnungen oder Zusammenziehungen sein, welche dasselbe Volumen successiv erfährt.

8) Wenn die Zusammenziehung oder Ausdehnung eines festen Körpers nur sehr klein ist, und man von einem gegebenen Punkte m dieses festen Körpers aus nach allen Richtungen radios vectores zieht, deren jeder eine Länge hat, welche äquivalent ist der Einheit, dividirt durch die Quadratwurzel der nach der Richtung des Radius vector von m aus erfolgenden Linear-Zusammenziehung oder Ausdehnung *), so wird durch die Enden

*) Zur genauern Bestimmung Folgendes: Wenn der ursprüngliche Abstand des Theilchens m von einem ihm sehr nahen Theilchen m′ gleich r, und nach erfolgter Ausdehnung oder Zusammenziehung gleich $r\,(1+\varepsilon)$ ist, so ist $\varepsilon$ das, was man die Linear-Ausdehnung oder Zusammenziehung (je nachdem $\varepsilon$ positiv oder negativ ist) nach der Richtung des letztern Radius nennt. Die Radii vectores rings um das Theilchen m werden also $= \sqrt{\frac{1}{\varepsilon}}$ genommen, wo $\varepsilon$ die, jeder Richtung zukommenden, Werthe erhält.

dieser Radii vectores ein zweites Ellipsoid bestimmt werden, dessen drei Axen in dieselbe Richtung fallen als die Axen des unter 1) bestimmten Ellipsoids, welches m zum Mittelpunkte hätte.

Jedoch nur dann wird man auf diese Weise ein Ellipsoid erhalten, wenn entweder nach allen Richtungen Ausdehnung oder nach allen Richtungen Zusammenziehung um den Punkt m erfolgt. Wenn dagegen nach gewissen Richtungen um diesen Punkt Ausdehnung, nach andern Richtungen Zusammenziehung erfolgt, so wird man statt des Ellipsoids zwei conjugirte Hyperboloide *), ein einschaliges und ein zweischaliges erhalten, deren ersteres der Ort für das Ende aller der Radien ist, nach deren Richtung Ausdehnung erfolgt, das andre der Ort für das Ende aller der, nach deren Richtung Zusammenziehung erfolgt, und die Richtung der gemeinschaftlichen (kegelförmigen) Berührungsfläche, die beide Hyperboloide im Unendlichen haben, wird die sein, nach der weder Ausdehnung noch Zusammenziehung Statt findet **).

Erfolgt nach allen Richtungen eine gleich große Ausdehnung oder gleich große Zusammenziehung, so erhält man statt der vorigen Flächen eine Kugel; ist die Ausdehnung oder Zusammenziehung nach einer Richtung null, einen Cylinder; und ist sie nach zwei auf einander senkrechten Richtungen null, zwei parallele Ebenen.

Anmerkung. Es ist wohl in Obacht zu nehmen, daß diese unter 8) angegebenen Formen nicht die wirkliche Gestaltveränderung eines Volumenelements bezeichnen (für welche vielmehr 1) gilt), sondern daß sie blos eine geometrische Construction der Verhältnisse sind, die zwischen den Linear-Contractionen oder Dilatationen, wenn sie sehr klein sind, nach verschiedenen Richtungen um denselben Punkt Statt finden.

*) D. i. die gleiche Axen und gleichen Mittelpunkt haben.

**) Die Gleichung des in Rede stehenden Ellipsoids vom Orte des Theilchen m aus ist:

$$\mathfrak{A}x'^2 + \mathfrak{B}y'^2 + \mathfrak{C}z'^2 + 2\mathfrak{D}y'z' + 2\mathfrak{E}z'x' + 2\mathfrak{F}x'y' = \pm 1$$

wo das obere Zeichen gilt, wenn um den Punkt m blos lineare Dilatationen, das untere, wenn um den Punkt m blos lineare Contractionen Statt finden.

Dieselbe Gleichung gilt für beide Hyperboloide, im Fall nach gewissen Richtungen Dilatation, nach andern Contraction um das Theilchen m Statt findet, und zwar wird das eine Hyperboloid durch die Gleichung mit dem obern, das andre durch die mit dem untern Vorzeichen bestimmt. Die Buchstaben $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{D}$, $\mathfrak{E}$, $\mathfrak{F}$ sind folgendergestalt bestimmt (wo x, y, z, $\xi$, $\eta$, $\zeta$ dieselbe Bedeutung als in der Anm. Seite 58. haben).

$$\mathfrak{A} = \frac{d\xi}{dx}, \quad \mathfrak{B} = \frac{d\eta}{dy}, \quad \mathfrak{C} = \frac{d\zeta}{dz}, \quad 2\mathfrak{D} = \frac{d\eta}{dz} + \frac{d\zeta}{dy},$$

$$2\mathfrak{E} = \frac{d\zeta}{dx} + \frac{d\xi}{dz}, \quad 2\mathfrak{F} = \frac{d\xi}{dy} + \frac{d\eta}{dx}$$

**Messung starker Druckkräfte.** Bevan *) hat zur schnellen Messung starker Druckkräfte vorgeschlagen, das Verhältniß, in welchem Bleikugeln durch gegebene Gewichte plattgedrückt zu werden vermögen, zuvörderst zu bestimmen, und nach so entworfenen Scalen dann jedesmal aus dem Grade des Plattdrückens auf die Größe der zu bestimmenden Druckkräfte zu schließen. Coriolis **) indeß, der, unabhängig von Bevan, dies Verfahren (an Bleicylindern statt Bleikugeln) einer genaueren Prüfung unterworfen, hat es praktisch nicht anwendbar gefunden, einerseits wegen der Schwierigkeit, Bleistücken von immer gleichartiger Beschaffenheit zu bekommen (da die Art des Schmelzens so viel Einfluß auf seine Ductilität äußert, vergl. S. 27.), andrerseits, weil die Dauer des Drucks einen zu großen Einfluß auf das Resultat äußert. Man könnte zwar jedesmal das Maximum der Plattdrückung abwarten, allein dies würde, wie aus S. 28. erhellt, sehr lange Zeit fodern.

**Über den Druck von Drähten, welche in gespanntem Zustande schraubenförmig um Glasröhren gewickelt werden, von E. F. und W. Weber ***).** Die nachfolgenden Erfahrungen sind in so fern merkwürdig, als sie eine Vorrichtung kennen lehren, vermöge deren ein Gewicht von geringer Größe benutzt werden kann, einen über alle Erwartung großen Druck auszuüben.

Die Grundthatsache ist, daß, wenn man einen, an einem Ende befestigten, am andern durch ein Gewicht gespannten, Draht in diesem gespannten Zustande um einen cylindrischen Körper wickelt, z. B. eine Glasröhre, die über einen mit Zwirn umwundenen Holzcylinder geschoben ist, die schraubenförmigen Drahtwindungen einen sehr starken Druck auf die Glasröhren äußern, der um so mehr zunimmt, mit je mehr Lagen des Drahts man die Röhre umwindet. Durch diesen Druck kann die Röhre leicht in Scheiben oder Ringe zerbrochen, oder, wenn anstatt ihrer ein cylindrischer Stab (mit einem engen Canal) angewendet wird, derselbe nach dem Verlauf der Windungen gerieft werden, oder bei mehrfacher Umwickelung ebenfalls zerbrechen.

Der Druck auf die Glasröhre nimmt ziemlich, wiewohl nicht ganz, nach dem geraden Verhältniß der Anzahl Lagen von Drahtwindungen, die darum gemacht werden, zu; in etwas minderm Verhältniß deßhalb, weil die äußern Windungen durch ihren Druck auf die innern und auf die Glasröhre selbst eine Zusammendrückung des ganzen Cylinders von Glas und innern Drahtwindungen, und sonach eine Verkleinerung des Umfangs bewirken. Es nimmt hiedurch die Länge jeder einzelnen innern Windung um etwas ab. Da nun die Spannung der Drähte im einfachen Verhältniß, als sie durch irgend eine Kraft verlängert oder verkürzt werden, zu- oder abnimmt, so erhellt, daß durch diesen Druck der äußern auf die

*) Philos. Mag. 1829. oct. p. 284.
**) Ann. de Ch. et de Ph. XLIV. 103.
***) Pogg. XX. 4.

innern Windungen eine geringe Abspannung der innern Drahtwindungen und eine entsprechende Verminderung des Drucks auf den Glascylinder erfolgen muß, wie dies näher aus einer im Original beigefügten Berechnung erhellt.

Die Verfasser wendeten bei ihren Versuchen u. a. eine Glasröhre von 24,2 pariser Linien Umfang, 0,513 par. Lin. Glasesdicke und einen Eisendraht von 0,1455 par. Lin. Durchmesser, von welchem 1 par. Fuß Länge 0,215 Grammen wog, an, welcher letztern durch ein Gewicht von 4150 Grammen gespannt war. Aus der Berechnung*) ergiebt sich, daß hier bei einmaliger Umwindung jede, von einer einfachen Schraubenwindung bedeckte, Stelle der Glasröhre (= 3,521 Qu. Lin.) einen Druck = 140 Atmosphären, bei zweimaliger Umwindung = 274 Atmosphären, bei dreimaliger = 402½ Atmosphären, bei viermaliger = 526 Atmosphären auszuhalten hatte. In der That wurde, als man auf drei Lagen von Windungen die vierte hinzufügte, der Druck so groß, daß sich die Glasröhre an allen Stellen, wo er Statt fand, in dünne Schalen oder Ringe, welche gleichfalls Fragmente von Schraubenwindungen, und gerade so breit waren, als der Draht dick war, spaltete. Mehrere hatten sich so groß erhalten, daß die Stücke eine ganze Schraubenwindung bildeten. Einige Stücke stellten auch dicke Ringe dar, bei denen es zuweilen gelang, die Spaltung in kleine schraubenförmige Stücke durch eine kleine Nachhülfe zu vollenden. Mehrere andere aber waren durch den, bei dem eintretenden Zerbrechen erschlaffenden und sich verschiebenden Draht, in viele Stücke zerbrochen.

Einen andern Versuch stellten die Verfasser mit 2 Stücken eines dicken cylindrischen Glasstabes, der in seiner Mitte einen nur sehr kleinen röhrenförmigen Canal hatte, an. Das erste Stück hatte einen Umfang von 16¾ par. Lin. und der Durchmesser des kleinen Canals in seiner Mitte war 0,76 Lin. Es wurde auf demselben der schon oben erwähnte Eisendraht, bei 4250 Grammen Spannung, 10mal über einander aufgewickelt, und die Festigkeit des Stabes widerstand der Größe des Drucks, der auf solche Weise hervorgebracht ward. Als der Draht wieder abgewickelt worden war, zeigte sich der Cylinder noch ganz, aber seine Oberfläche fein gerieft, als wäre sie mit einer feinen Diamantspitze geritzt, so fein, wie man die Glasmikrometer zu machen pflegt**). — Hier hatte die Kraft blos hingereicht, die Oberfläche des Glasstabes, nicht aber diesen in seiner ganzen Dicke zu sprengen. Als aber die Verfasser ein andres Stück Glasstab von 12,9 Lin. Umfang und mit einem röhrenförmigen Canal von 0,5 Lin. in der Mitte mit 6 Lagen desselben Drahts bei 6250 Grammen Spannung umwickelt und einige Windungen der siebenten Lage gebildet hatten, sprang die Röhre an der Stelle, wo sich der letzte Reif befand, quer durch, die

*) S. die Berechnung für eine einmalige Umwindung im Zusatz.

**) Diese Riefen waren nicht kleine vom Draht abgerissene und auf dem Glasstabe festgedrückte Eisentheilchen, denn sie blieben unverändert, als der Glasstab in Salzsäure getaucht wurde.

Bruchfläche war ziemlich glatt, und zeigte an einigen Stellen den Anfang von kleinen Blättchen, welche der Draht von der übrigen Glasmasse losgespalten hatte. Einige feine gläserne Kreisscheiben fielen auf den Boden im Augenblicke des Zerspaltens, die wahrscheinlich schon, ehe sie fielen, in mehrere Stücke gebrochen waren und beim Auffallen in noch kleinere Stücke gespalten wurde.

Die Verfasser ziehen aus ihren Versuchen, mit Hülfe einer Berechnung, hinsichtlich deren wir auf die Originalabhandlung verweisen, noch folgende indirecte Folgerungen.

Wenn man eine Glasröhre dem Druck dünner, neben einander liegender gespannter Drähte aussetzt, so erfährt sie nicht blos eine Verkleinerung ihres Durchmessers im Ganzen, sondern es entstehen, bevor sie zerbricht, nach der Lage der Drahtringe neben einanderliegende Eindrücke in ihrer ganzen Länge.

Das Glas spaltet, wenn in seiner Oberfläche zwei Eindrücke von 0,001455 Lin. Tiefe in 0,1455 Lin. Entfernung*) von einander gemacht werden.

Zur Hervorbringung einer Reihe neben einander liegender furchenförmiger Eindrücke von 0,001455 Lin. Tiefe, $\frac{0,1455}{2}$ Lin. Halbmesser**) und 1 Zoll Länge muß der Druck des Drahts für jede Furche zwischen 37170 und 48570 Grammen betragen.

Die gesammte Verkleinerung des Halbmessers der Glasröhren bei dem erst angeführten Versuche durch vierfache Umwickelung verhielt sich zur Tiefe des Eindrucks jedes einzelnen Ringes wie 7 : 1, oder, mit andern Worten, die von den Ringen hervorgebrachten wellenförmigen Unebenheiten waren ungefähr 7 Mal so klein, als die Zusammendrückung der Röhre.

Zusatz. Der Druck eines bei p Grammen Spannung aufgewundenen Drahtringes auf die Oberfläche einer Röhre ist:

$$= 2\,\pi\,p,$$

wo $\pi$ das Verhältniß des Durchmessers eines Kreises zur Peripherie bezeichnet. — Denn substituirt man ein reguläres Polygon dem Kreise, dessen Seite $= y$, dessen Perimeter $= \Pi$ und dessen Seitenzahl $= \frac{\Pi}{p}$, so übt der Draht auf die Seiten des Polygons keinen Druck, sondern blos auf die Winkelpunkte des Polygons aus. Ist in Figur 8 A der Winkelpunkt des Polygons, ABCD der umschriebene Kreis, dessen Halbmesser zur Längeneinheit genommen werde, $AB = AD = y$, BE ein Perpendikel auf den Durchmesser AC, so ist, dem Parallelogramm der Kräfte gemäß, wenn nach AB und AD zwei gleiche Kräfte $= p$ ziehen, der Druck auf den Winkelpunkt A

$$= 2\,AE \,.\, \frac{p}{y},$$

*) Diese Entfernung auf die tiefsten Stellen der Eindrücke bezogen.
**) Diesen auf den Querschnitt der Furche bezogen.

wegen Ähnlichkeit der Dreiecke ABC und AEB:

$$2 : y = y : AE,$$

folglich der Druck auf den Winkelpunkt A

$$= py,$$

folglich auf alle Winkelpunkte des Polygons zusammen

$$= p\Pi.$$

Substituirt man einen Kreis dem Polygone, so tritt $2\pi$ an die Stelle von $\Pi$, folglich ist der Druck auf die ganze Peripherie:

$$= 2\pi . p.$$

Bei mehrfachen Umwindungen der Glasröhre muß in Betracht gezogen werden, daß eigentlich nur die oberste Reihe von Drahtringen den vollen Druck ausübt, indem, wie schon S. 62 erörtert, die darunter befindlichen Reihen von Ringen selbst eine Verkleinerung ihres Umfangs und eine damit verbundene Abspannung erleiden. Im Original sind hierüber Berechnungen beigefügt, hinsichtlich deren wir auf dasselbe verweisen.

**Druck des Sandes und anderer körnerartigen Substanzen, von Huber Burnand** *). Das übereinstimmende Ergebniß der nachfolgenden Versuche ist, daß bei körnerartigen Substanzen der Druck sich nicht eben so wie in Flüssigkeiten nach allen Richtungen, ja im Grunde so gut als gar nicht durch dieselben fortpflanzt.

1) Ein Ei wurde auf den Boden eines Kastens gelegt, einige Zoll hoch mit Sand bedeckt und dieser mit einem Gewichte von 25 Kilogrammen belastet. Das Ei blieb unversehrt unter diesem enormen Gewichte.

Auch als der Versuch so wiederholt wurde, daß der Sand durch eine, auf den Boden des Kastens angebrachte, Öffnung zugleich ausfloß, blieb das Resultat dasselbe, mochte sich das Ei in der Mitte der Masse Sandes oder auf seinem Boden aufliegend befinden.

2) Der Verfasser nahm eine, an beiden Enden offene, Glasröhre, inserirte eines ihrer Enden vertical in eine kleine horizontale hölzerne Röhre, welche ihrerseits genau mit einem ihrer Enden in eine verticale cylindrische Hülse (boîte) von 1 Centimeter Durchmesser und 21 Centimeter Höhe eintrat.

Diese Hülse wurde mit Quecksilber, gleich dem Gefäße eines Barometers, gefüllt. Das Metall setzte sich natürlicherweise in der verticalen Glasröhre ins Niveau; seine Höhe in dieser Röhre wurde genau angemerkt; darauf an die cylindrische Hülse eine große Röhre aus Weißblech von 65 Centimeter Länge und $3\frac{1}{2}$ Centimeter Durchmesser gefügt. Diese große Röhre wurde mit Sand gefüllt, der sehr sacht eingegossen ward.

Solchergestalt hatte man ein wahres Barometer, den Druck des Sandes zu messen. Allein, was sehr merkwürdig erschien, der Sand hatte nichts zu dem Gewichte des Quecksilbers hinzugefügt; die metallische Flüssigkeit blieb bei ihrem Niveau, bis auf 2 Millimeter, welche Differenz von

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLI. 166.

einigen momentanen Oscillationen abhing, welche die Maschine während der Operation erfuhr; denn nach einer Ortsveränderung des Apparats nahm das Quecksilber sein Niveau wieder völlig wie vor dem Versuche ein, und behielt es so lange, als die Umstände dieselben blieben.

Der Sand wurde jetzt weggenommen, und an seiner Stelle die ganze Röhre mit trockenen Erbsen gefüllt, deren Gewicht $1\frac{1}{2}$ Kilogrammen betrug. Hiezu wurde noch ein Gewicht von 1 Kilogrammen und endlich ein so starker Druck der Hand, daß der Verfasser ein Zerbrechen der Maschine besorgte, gefügt. Dessen ungeachtet behielt das Quecksilber sein Niveau in der Glasröhre und stieg nicht um 1 Millimeter.

Gießt man Wasser in die Röhre, welche die Erbsen enthielt, so sieht man das Quecksilber in der Glasröhre um $\frac{1}{13}$ seiner Totalhöhe steigen, welches der specifischen Schwere beider Flüssigkeiten entspricht. Das Wasser wirkt also allein hiebei und nach seiner gewöhnlichen Art; die Erbsen tragen nichts zu dem Drucke bei.

3) Man verschließe das untere Ende einer an beiden Enden offenen Röhre von etwa 1 Zoll Durchmesser und beliebiger Länge mit einem feinen Blatt Papier, indem man dies blos mit befeuchteten heraufgeschlagenen Rändern daran applicirt. Man stelle dies Ende auf den Fußboden und fülle die Röhre mit Sand. Hebt man sie jetzt sacht in die Höhe, so wird man die Röhre forttragen können, ohne daß der Sand ausfließt, ungeachtet das Papier nur ganz schwach anhaftet.

4) Der Verfasser versuchte vergebens, aus einer großen horizontalliegenden Röhre, welche mit Sand gefüllt war, den Sand mittelst eines hölzernen Stempels von mehreren Fuß Länge und etwas kleinerm Durchmesser als die Röhre, herauszutreiben; eher wären die Wände der Röhre gesprungen, als daß der Sand um einen Zoll gewichen wäre. Auch als die Röhre um 20° gegen den Horizont geneigt war, so daß ein Theil der Schwerkraft der Wirkung des Drucks zu Hülfe kam, ließ sich der Sand auf keine Weise hindurchtreiben.

Es finden sich noch mehrere Versuche angeführt, welche den Umstand, daß sich der Druck der obern Schicht von Sand oder Erbsen nicht zu den untern fortpflanzt, beweisen; ich übergehe diese, da sie etwas complicirter sind, ohne mehr zu beweisen als die, in diesem Bezuge schon hinreichenden, vorigen.

Spannung und Dehnung von Saiten. Weber *) fand durch Versuche mit einer feinen Eisensaite, daß, wenn dieselbe eine Zeit lang dem Maximo der Spannung unterworfen gewesen war, welches sie, ohne zu reißen, vertrug, sie sich dann nach dem geraden Verhältniß des vermehrten oder verminderten spannenden Gewichts verlängerte oder verkürzte; war sie dagegen nicht dieser größten Spannung unterworfen gewesen, so zog sie sich, wenn sie bei zunehmender Spannung verlängert worden war,

*) Pogg. XVII. 226.

bei abnehmender Spannung nicht wieder bis zu demselben Punkte zusammen und es waren um so kleinere Gewichtszusätze nöthig, sie fortgehends um gleiche Größen zu verlängern, je weiter ihre Verlängerung schon gediehen war. — In der Originalabhandlung ist eine Versuchstabelle zum Belege beigefügt.

**Verfahren, Drähte durch eine bestimmte Kraft plötzlich zu verlängern und zu verkürzen, oder zu spannen und abzuspannen, von Weber** *). Es kann für manche physikalische Versuche (z. B. über die spec. Wärme der Metalle) von Wichtigkeit werden, Drähte durch eine gegebene Kraft plötzlich verlängern oder verkürzen zu können. Nun bietet schon das Anhängen von Gewichten an das untere Ende eines verticalen Drahts hiezu ein Mittel dar; allein, weil ein solcher Draht, wenn man das Gewicht nun sich selbst überläßt, nicht sogleich in Ruhe kommt, sondern in eine Schwankung auf- und abwärts geräth, wodurch der Draht bald zu lang bald zu kurz wird, so wird man hiedurch verhindert, das untere Ende des Drahts genau in demjenigen verlängerten Zustande zu fixiren, welcher der Kraft des Gewichts entspricht. Um diesen Übelstand zu beseitigen, wendet daher Weber zur Spannung des Drahts die Communication mit einem schon gespannten Drahte auf folgende Weise an.

Er läßt die zwei Hälften a b, b c (Fig. 7) eines und desselben Drahtes durch eine Kugel **), die mittelst einer Klemme b festgedrückt oder frei schwebend gelassen werden kann, mit einander communiciren. In a ist der Draht unveränderlich befestigt, in c dagegen geht er durch eine Klemme, die beliebig geöffnet oder zusammengepreßt werden kann.

Gesetzt nun, es werden zuerst beide Klemmen b und c geöffnet und der ganze Draht durch ein gewisses (über eine Rolle d gehendes) Gewicht, das wir P nennen wollen, gespannt, darauf die Klemme b geschlossen, so daß die Kugel festgedrückt und mithin das Drahtstück a b mit der, dem Gewicht P zugehörigen, Kraft gespannt bleibt. Man füge jetzt zum Gewichte P ein zweites Gewicht Q; die Drahthälfte b c wird jetzt durch das Gewicht P + Q gespannt sein; die Hälfte a b aber blos mit der, dem Gewicht P entsprechenden, Kraft gespannt bleiben, weil sie durch das Festdrücken der Kugel gleichsam abgesperrt von der andern Hälfte ist. Man schließe nun die Klemme bei c, so wird auch die Drahthälfte b c in der Spannung und Verlängerung, die sie vermöge des Gewichts P + Q erhielt, verharren. Öffnet man aber jetzt die Klemme bei b (während die bei c geschlossen ist), so daß die Kugel frei wird, so wird die Communication zwischen a b und b c hergestellt sein, und es werden beide ihre

*) Pogg. XX. 181.

**) Diese Kugel besteht aus zwei Halbkugeln, die mittelst einer besondern Schraubenvorrichtung auf einander gepreßt werden. Der Draht geht durch die Kugel hindurch, indem er in zwei auf einander passenden Furchen der obern und untern Halbkugel, in welche er mit Schmirgel eingeschliffen ist, liegt.

Spannung ins Gleichgewicht setzen. Die stärker gespannte Hälfte b c des Drahts wird somit die schwächer gespannte in einem bestimmten Grade verlängern, sich selbst aber um eben so viel verkürzen, um dies Gleichgewicht hervorzurufen, und die gemeinschaftliche Spannung beider wird jetzt $\frac{P+Q}{2}$ betragen.

Man kann jetzt die Drähte durch abermaliges Schließen der Klemme b in diesem gleichen Spannungszustande fixiren. Allein wesentlich ist die (im nächsten Artikel noch näher zu erörternde) Bemerkung, daß sie in diesem gleichen Spannungszustande, in dem sie sich gleich nach Schließung der Klemme b jedenfalls befinden, nur dann dauernd verbleiben werden, wenn die Schließung nicht sofort nach der Communication, sondern erst dann geschahe, wenn die Temperaturveränderungen, welche durch Verlängerung und Verkürzung der Drahthälften entstanden sind, sich wieder mit der atmosphärischen Temperatur ausgeglichen haben, wozu bei den Versuchen des Verfassers 6 Secunden ausreichten. Denn schließt man kurz nachdem die Communication hergestellt war, die Klemme b, so daß b c in seinem durch die Verkürzung erwärmten, a b in seinem durch die Verlängerung erkälteten Zustande, fixirt wird, so ändern sie ihre bei der Fixirung Statt findenden gleichen Spannungen *) in dem Maße, als sie sich wieder mit der Temperatur der Atmosphäre in Gleichgewicht setzen, und zwar nach entgegengesetzten Richtungen, so daß die Drahthälfte a b nach einiger Zeit an Spannung abgenommen, die Drahthälfte b c um eben so viel zugenommen hat.

Will man nun diese Abnahme oder Zunahme bestimmen, so schreitet man zu akustischen Versuchen, indem man den Draht a b oder b c für sich (bei geschlossener Klemme b) **) in Schwingung versetzt und nach den bekannten Gesetzen aus der Geschwindigkeit der Schwingungen die Spannung berechnet. Weber verfährt hiebei so, daß er den Ton, welchen diese

*) Es leuchtet ein, daß die Spannungen beider Drahthälften unmittelbar bei der Fixirung gleich sein müssen, ungeachtet ungleicher Temperatur, weil sie sich nothwendig bei der Communication ins Gleichgewicht setzen, was nur unter Voraussetzung gleicher Spannungen bestehen kann.

**) Weber findet es nöthig, mit Schließung der Klemme b eine kleine Zeit (er fand $\frac{1}{2}$ Secunde hinreichend) nach der hergestellten Communication zu warten, damit die kleinen Wellen oder Schwingungen, die vermöge des durch die Communication gestörten Gleichgewichts längs dem Drahte hin- und herlaufen, und in partiellen Verdichtungen und Verdünnungen bestehen, erst verschwinden; denn wenn man die Klemme in dem Augenblicke schlösse, wo sich an dieser Stelle eine verdichtende Welle befände, so würde man für die nachherige Spannung beider Drahthälften andere Resultate erhalten, als wenn man die Klemme b in einem Augenblicke schlösse, wo sich an der nämlichen Stelle eine verdünnende Welle befände (vergl. Pogg. XX. 194). Freilich scheint es, als müsse, da die ganze Spannungsänderung sich auf einen Zeitraum von 6 Secunden nach des Verfassers Versuchen beschränkt, der Zeitraum von der ersten $\frac{1}{2}$ Secunde schon nicht ganz zu vernachlässigen sein.

Schwingungen der Drahthälften a b und b c hervorbringen, mit dem Tone einer Stimmgabel vergleicht, die so gewählt ist, daß beide fast harmoniren und nur wenige sogenannte Schwebungen oder Pulsationen hervorbringen. Durch Zählung dieser Schwebungen oder Pulsationen, welche durch die ungleiche Geschwindigkeit der schwingenden Stimmgabel und des schwingenden Drahts a b entstehen, hat man dann ein Mittel, die Spannung des Drahts a b sehr genau zu bestimmen, wie in der Lehre vom Schall noch näher erörtert werden wird.

Nachdem man die geänderte Spannung der Drahthälften a b oder b c dadurch gemessen hat, daß man eine gewisse Anzahl Schwebungen, z. B. in 5 Secunden, gezählt hat, kann man leicht die anfängliche Spannung $\frac{P+Q}{2}$ wieder herstellen, indem man die Klemme b öffnet, und kann alsdann mit denselben Hülfsmitteln die Messung der Spannung wiederholen.

Die Versuche an a b und b c können zur wechselseitigen Controle dienen, da sie zu quantitativ gleichen Resultaten, nur mit entgegengesetztem Vorzeichen, führen.

Die Figur, auf welche sich diese Erörterung bezieht, giebt übrigens bloß eine grobe, zur Einsicht in das Princip jedoch hinreichende, Vorstellung des von Weber angewandten Apparats, der, um genaue Versuche zuzulassen, eine sorgfältige Construction erfordert. Man findet ihn allen seinen einzelnen Theilen nach in Pogg. Ann. XX. S. 211 ausführlich beschrieben und abgebildet.

Weber vergleicht auf sinnreiche Weise die hier angewandte Mittheilung der Spannung von einem stärker gespannten an einen schwächer gespannten Körper durch augenblickliche Herstellung einer freien Communication zwischen beiden, mit der, durch einen Hahn oder ein Ventil bewirkten, Herstellung der Communication eines Gefäßes voll verdichteter Luft oder Dampf mit einem Gefäße voll verdünnter Luft oder Dampf. Das Freilassen der Kugel beim Drahte vertritt nämlich hier ganz die Stelle der Öffnung des Hahns oder Ventils bei der Luft oder dem Dampfe.

Spannungsänderungen verlängerter oder verkürzter Drähte von Weber *). Durch Versuche an Drähten von Eisen, Kupfer, Silber und Platin mittelst der so eben beschriebenen Vorrichtung hat Weber folgende Sätze ausgemittelt.

1) Wenn ein Draht plötzlich verlängert worden ist und in diesem verlängerten Zustande sofort oder bald nachher fixirt wird, so daß seine Länge keine Änderung erleiden kann, so erfährt er allmählig eine Abnahme derjenigen Spannung, die er unmittelbar nach der Fixirung zeigt.

2) Wenn ein Draht plötzlich verkürzt worden ist, und in diesem verkürzten Zustande sofort fixirt wird, so erfährt er allmählig eine Zunahme derjenigen Spannung, die er unmittelbar nach der Fixirung zeigt.

*) Pogg. XX. 178.

3) Unter sonst gleichen Umständen sind die Spannungsänderungen, welche durch Verlängerung oder Verkürzung gleicher Drähte Statt finden, gleich groß (nur nach entgegengesetzter Richtung), wenn die Kraft, welche die Verlängerung bewirkte, ganz gleich der ist, welche die Verkürzung bewirkte.

4) Diese Abnahme und Zunahme der Spannung rühren von Temperaturveränderungen her, die durch den Akt der Verlängerung und Verkürzung im Drahte veranlaßt werden, indem, wie bekannt, die Spannung sich mit der Temperatur ändert. Im Augenblicke der Verlängerung nämlich erniedrigt sich die Temperatur des Drahts unter die der umgebenden Atmosphäre, allein die Spannung, welche er sofort nach dieser Verlängerung vermöge der jetzt Statt habenden Temperatur besitzt, kann nicht bleibend sein, weil die Temperatur allmählig wieder bis zu der Temperatur der Atmosphäre steigt, und hiemit sich die Spannung ändert; eben so wird die Temperatur des Drahts durch eine schnelle Verkürzung über die der Atmosphäre erhöht, allein die dieser Temperaturerhöhung entsprechende Spannung kann eben so wenig bleibend sein, weil der Draht allmählig seine Temperatur wieder zu der der Atmosphäre erniedrigt.

Zu 1) 2) und 3). Das Thatsächliche der Spannungsänderungen wurde von Weber mittelst der S. 67 beschriebenen Vorrichtung ausgemittelt, welche den Vortheil darbot, von zwei gleichen Drahttheilen den einen mit ganz derselben Kraft verlängern zu können, mit welcher zugleich der andere verkürzt ward. Zugleich gab die Methode der Schwebungen das Mittel an die Hand, selbst sehr kleine Abnahmen oder Zunahmen in der Spannung, auch wenn sie nur sehr wenigen Schwingungen auf 5 Secunden entsprachen, bestimmen zu können. So fand er bei nachstehenden Drähten, welche, erst durch das Gewicht P gespannt, dann plötzlich durch Hinzufügung des Gewichts Q verlängert wurden, daß sie durch die Temperaturänderung nach der Fixirung folgende Verluste an Spannung erlitten *).

| Metall | P | Q | Verlust an Spannung für die Schwingungszahl in 5 Secunden. |
|---|---|---|---|
| Eisendraht . . . . . | 1000 | 4000 | $7\frac{1}{8}$ |
| Kupferdraht . . . . . | 1700 | 2000 | $6\frac{1}{3}$ |
| Silberdraht . . . . . | 1000 | 2000 | $5\frac{5}{16}$ |
| Platindraht . . . . . | 800 | 1200 | $15\frac{1}{3}$ |

*) Die Drähte hatten verschiedene Dimensionen, waren aber sämmtlich so eingerichtet, daß sie, durch das Gewicht P + Q gespannt, einen Ton gaben, der dem einer f-Stimmgabel nahe war.

Die Spannungsgewinnste bei Verkürzungsversuchen unter gleichen Umständen betrugen merklich eben so viel.

Nach den Datis der Versuche ließen sich die Temperaturveränderungen berechnen (vergl. den Zusatzartikel), welche diese Schwingungsänderungen veranlaßt hatten. Diese Temperaturveränderungen hatten betragen:

| | |
|---|---|
| für Eisen | 1°,092 C. |
| = Kupfer | 0°,883 |
| = Silber | 0°,960 |
| = Platin | 2°,073. |

Zu 4). Daß die besprochenen Spannungsänderungen wirklich von Temperaturveränderungen abhängen, schließt der Verfasser indirect auf folgende Weise:

Die bisher gemachten Erfahrungen haben bewiesen, daß die Spannung eines Körpers im Allgemeinen von dreierlei abhänge: a) von seiner Temperatur; b) von seinen Dimensionen in allen drei Richtungen; c) von seiner Ziehbarkeit oder Ductilität in dem Falle, daß so große äußere Kräfte auf ihn wirken, daß seine natürliche Form und Dichtigkeit eine Änderung erleidet. Nun läßt sich darthun, daß Änderungen der beiden letzten Umstände nicht im Spiele waren; mithin bleibt bloß die Änderung des ersten Umstandes als Ursache übrig.

In der That wurde der Einfluß einer Veränderung der Dimensionen durch die genaue Fixirung des Drahts beseitigt, der Einfluß der Ductilität aber dadurch, daß die angewandten Drähte zuvor so präparirt waren, daß die Wirkung der Ductilität nicht mehr in Betracht kam, wozu S. 66 das Verfahren angegeben ist. Zu diesen Beweisen kommt noch, daß nach den Versuchen des Verfassers schon 6 Secunden nach der Verlängerung oder Verkürzung eine constante Spannung eintritt, was vortrefflich damit vereinbar ist, daß eine schnell sich ausgleichende, Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur Ursache der Spannungsänderung war; dagegen die Wirkung der Ziehbarkeit, wo eine solche vorhanden ist, immer viel länger, mehrere Tage, mehrere Stunden, selten bloß mehrere Minuten lang dauert; auch kann die Ziehbarkeit unter keinen Umständen die Spannung eines Drahts vermehren. Übrigens läßt sich aus einer nähern Betrachtung der Erscheinung, die im Original gegeben ist, folgern, daß nicht Friction durch Verschiebung der Theilchen des Drahts, sondern bloß die Volumenänderung (vermöge damit in Verbindung stehender Änderung der Wärmecapacität) Schuld an der Temperaturänderung ist.

Zusatz. Formeln, um 1) die Verlängerung oder Verkürzung r (in Theilen der ursprünglichen Drahtlänge) zu berechnen, welche erforderlich ist, die Temperatur eines Drahts um eine gewisse Anzahl Grade t zu erniedrigen oder zu erhöhen; 2) die Dilatation oder Contraction $\nu$ (in Theilen des ursprünglichen Volumens) zu berechnen, die erforderlich ist,

die **Temperatur eines Metalls um eine gewisse Anzahl Grade t zu erniedrigen oder zu erhöhen.**

Man wende bei dem Apparat Fig. 7 mit Bezug auf die beiden vorigen Artikel einen Draht von dem zu untersuchenden Metalle an, und es sei:

n die Anzahl der Schwingungen des Theils a b in 1 Secunde, wenn die Spannung der Drahthälften a b und b c ausgeglichen und $= \frac{P+Q}{2}$ ist.

$n-\mu$ sei die Zahl der Schwingungen von a b nach Abnahme seiner Spannung durch die freiwillige Temperaturveränderung.

l die Länge des Theils a b.

g die Länge des Fallraumes im leeren Raume für die erste Secunde.

G das Gewicht eines Stücks Draht von der zu Grunde gelegten Längeneinheit.

k′ der Ausdehnungscoefficient fester Körper für 1° Temperaturerhöhung in Theilen der Länge des Drahts.

$\pi = 3{,}141 \ldots.$

Man hat dann zur Lösung der Aufgabe folgende Formeln:

$$n = \frac{1}{l}\sqrt{\frac{2g}{G}}\sqrt{\frac{P+Q}{2}}$$

$$r = \frac{g k' (Q-P)}{2\mu n l^2 \pi} t$$

$$\nu = \frac{r}{2}$$

Über die Betrachtungen, durch welche diese Formeln hergeleitet sind, vergl. die Originalabhandlung (Pogg. XX. 200 ff.).

**Beispiel zur Berechnung.** Bei einem Versuche **Webers** fanden folgende Data Statt.

Es wurde ein Kupferdraht angewandt, von welchem ein Stück von 1300 Lin. Länge 3,332 Grammen wog, und bei welchem mithin, wenn wir 1 Lin. als Längeneinheit nehmen, $G = \frac{3{,}332}{1300}$ war.

Es war ferner bei diesem Versuche

l = 240 Linien.

P = 1700 Grammen.

Q = 5700 Grammen.

g in Linien ausgedrückt = 4348.

mithin

$$n = \frac{1}{240}\sqrt{\frac{4348 . 1300}{3{,}332}}\sqrt{3700} = 300$$

ferner fand sich $\mu = 1{,}267$

$k'$ (nach **Lavoisier**) $= \frac{1}{58200}$ für 1° C.

hiedurch findet man für eine Temperaturerhöhung um 100° C. $r = 0{,}121$

mithin $\nu = 0{,}0605 = \frac{1}{16}$.

Instrument, die Zunahme der Länge einer Saite oder eines Drahts durch Vermehrung des spannenden Gewichts zu bestimmen. Hiezu kann die Einrichtung des Monochords (Tonwage) dienen, welche Weber (Pogg. XV. 1.) gegeben hat; hinsichtlich deren wir es jedoch für zweckmäßig halten, auf das Original zu verweisen.

Über die Torsion starrer Streifen (lames) und Stäbe, von Savart *). Die nachfolgenden Untersuchungen, welche hauptsächlich zur Prüfung mehrerer, von Poisson und Cauchy auf mathematischem Wege aufgefundener, Sätze geschahen **), wurden mittelst folgenden Apparats vorgenommen:

Der zu untersuchende Stab wurde in horizontaler Richtung an einem Ende in einen Schraubenstock befestiget, am andern Ende mit jenem Punkte, welcher in seiner Axe lag, durch einen horizontalen Stift gehalten, etwa so wie Gegenstände, welche in eine Drehbank eingespannt sind, gehalten zu werden pflegen. Eine Stange aus Eisen oder Kupfer, die in der Mitte mit einem Loch versehen war, von der Form und Größe, wie es der zum Versuche hergerichtete Stab forderte, faßte mit diesem Loche den Stab an seinem Umfange so, daß, wenn diese Stange gedreht wurde, am Stabe eine Torsion eintrat. Die Windung wurde durch ein Gewicht hervorgebracht, das man mittelst eines Stahldrahtes am Ende jener Stange aufhing. Die Größe der Windung konnte man an einer getheilten Scheibe messen, die sich auf den Stift aufstecken ließ, welcher mit einer Spitze das Ende des zu prüfenden Stabes hielt. Ein Gegengewicht von schicklicher Größe brachte den Hebelarm, woran das drehende Gewicht hing, wieder in die horizontale Lage zurück, wenn er sie durch die Drehung des Stabes verlassen hatte; auch wurde dafür Sorge getragen, daß bei Anwendung bedeutender Gewichte der Schraubstock seine Lage nicht ändern konnte.

Mittelst dieses Apparats nun erhielt Savart nachfolgende Resultate:

1) Wie auch der Umriß des Querschnitts eines Stabes oder Streifens gestaltet sein mag, rund, dreiseitig, quadratisch oder rechteckig, jedenfalls sind innerhalb der Gränzen der Elasticität die Drehungsbogen direct proportional dem Moment der Kraft, d. h. dem Product aus der Kraft in den Abstand vom Befestigungspunkte.

2) Bei ähnlichen Querschnitten zweier Stäbe, wie sie auch übrigens gestaltet sein mögen, verhalten sich die Drehungsbogen umgekehrt wie die vierte Potenz der Linear-Dimensionen des Querschnitts.

3) Wenn die Stäbe Rechtecke sind und nach allen Richtungen eine gleichförmige Elasticität besitzen, so verhalten sich die Drehungsbogen umgekehrt wie das Product aus den Cuben der beiden Transversaldimensionen dividirt durch die Summe ihrer Quadrate; woraus folgt, daß, wenn die Breite sehr groß im Verhältniß zur Dicke ist, die Drehungsbogen merklich

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLI. 373, oder Baumg. Zeitschr. VII. 228.

**) Die wirklich dadurch bestätigt worden sind. Vergl. die Formeln nach diesem Artikel.

im umgekehrten Verhältniß der Breite und des Cubus der Dicke stehen werden, und zwar letzteres selbst in dem Fall, wenn die Elasticität nicht nach allen Richtungen dieselbe ist.

4) Die Schnelligkeit des Abkühlens hat bei Metallen einen großen Einfluß auf ihre der Torsion entgegenwirkende Kraft; und zwar erzeugt ein langsames Abkühlen stets eine größere Reaction als schnelles.

**Belege zu 1).** **Versuch mit einem vierseitigen rechtwinklichen Prisma aus Messing von 0,997 Meter Länge, 0,00356 Dicke und 0,0092 Meter Breite.**

| Drehungswinkel. | Beobachtetes Gewicht. | Berechnetes Gewicht. |
|---|---|---|
| 1° | 55,5 Gr. | 55,739 Gr. |
| 2° | 111 „ | 111,478 „ |
| 3° | 167 „ | 167,217 „ |
| 4° | 223,5 „ | 222,956 „ |
| 5° | 279 „ | 278,695 „ |
| 6° | 334 „ | 334,434 „ |
| 7° | 390 „ | 390,173 „ |
| 8° | 447 „ | 445,912 „ |
| 9° | 501 „ | 501,651 „ |
| 10° | 557 „ | 557,390 „ |
| 11° | 612,7 „ | 613,129 „ |
| 12° | 670 „ | 668,868 „ |

**Versuch mit einem gleichseitigen prismatischen Stahlstabe von 0,00572 Meter Breite.**

| Länge des Stabes in Decimetern. | Beobachtetes Gewicht. | Berechnetes Gewicht. |
|---|---|---|
| 12 | 132 Gr. | 132 Gr. |
| 11 | 145 „ | 144 „ |
| 10 | 159 „ | 158,4 „ |
| 9 | 175 „ | 176 „ |
| 8 | 198 „ | 198 „ |
| 7 | 226 „ | 226,3 „ |
| 6 | 263 „ | 264 „ |
| 5 | 317 „ | 316,8 „ |
| 4 | 395 „ | 396 „ |
| 3 | 525 „ | 528 „ |
| 2 | 785 „ | 792 „ |
| 1 | 1575 „ | 1584 „ |

Diese beiden Versuchsreihen sind hier bloß beispielsweise mitgetheilt worden. Im Original aber findet man außerdem noch ähnliche bestätigende Versuche für folgende Dimensionen und Substanzen:

a) Für die Proportionalität mit den Gewichten.

Messingcylinder, von 0,00672 Meter Durchmesser, 0,649 Meter Länge.

Kupferner quadratischer Stab von 0,6567 Meter Länge, 0,00566 Seite des Quadrats.

Glasstreifen von 0,63 Meter Länge, 0,0544 Meter Breite, 0,001516 Meter Dicke.

Streifen von Schmelzstahl von 0,2194 Meter Länge, 0,05187 Meter Breite, 0,00117 Meter Dicke.

Prismatischer dreiseitiger Stab von Kupfer von 0,6383 Meter Länge, 0,0088 Meter Seite.

b) Für die Proportionalität mit den Längen.

Glasstreifen von 0,0544 Meter Länge, 0,001516 Meter Dicke, Drehung um 1°.

Eichenbret von 0,096 Meter Breite, 0,0017 Meter Dicke, Drehung 1°.

Prismatischer dreiseitiger Kupferstab von 0,0088 Meter Seite, Drehung 1°.

Zu 2). Um die Gültigkeit des zweiten Gesetzes zu prüfen, bediente sich Savart mehrerer kupferner cylindrischer Stäbe von verschiedenen Durchmessern, hierauf kupferner Stäbe mit quadratischem Querschnitte, mehrerer Holzstäbe und Kupferstäbe mit dreiseitigem Querschnitte. Bei den cylindrischen Stäben standen für gleiche Drehungswinkel die vierten Potenzen der Durchmesser in dem Verhältnisse 33,1776 : 440,00935698 : 2279,88105 : 6678,41990656, oder wie 1 : 13,262 : 68,717 : 201,293; die Gewichte, durch welche jene Drehungswinkel erzielt wurden, wie die Zahlen 1 : 13,862 : 69,697 : 195,286.

Bei den prismatischen vierseitigen Kupferstäben mit quadratischen Querschnitten verhielten sich die vierten Potenzen der Seiten wie die Zahlen 1 : 2,1393 : 14,8043, während die entsprechenden Gewichte in dem Verhältnisse der Zahlen 1 : 2,1429 : 14,7899 standen.

Bei Stäben mit rechtwinklichem Querschnitte fand man die zur Erzeugung einer bestimmten Torsion nöthigen Gewichte in dem Verhältnisse der Quadrate ihrer Querschnitte, mithin ebenfalls dem Gesetze gemäß. Auf ähnliche Weise ward dies Gesetz auch bei Stäben mit dreiseitigem Querschnitte bestätigt.

Zu 3). Um eine hinsichtlich ihrer Elasticität merklich gleichförmige Substanz zur Prüfung des dritten Gesetzes anzuwenden, wählte Savart den Gyps (plâtre), der zufolge der Beobachtungen mittelst Schallschwingungen nur sehr geringe Elasticitätsverschiedenheiten zeigt. Die Länge des daraus verfertigten Stabes betrug constant 0,374333 Meter; seine Dicke und Breite wurde im Übergange von Nr. 1 zu Nr. 2 vermindert.

| | Nr. 1. | Nr. 2. |
|---|---|---|
| Breite | $0^m,0271$ | $0^m,017213$ |
| Dicke | $0^m,00698$ | $0^m,005188$ |
| Drehungsbogen | 1° | 1° |
| Gewicht | 120 Grammen. | 30,33 Grammen. |

Nimmt man das Product aus den Cuben der beiden Querdimensionen und dividirt es durch die Summe der Quadrate derselben Dimensionen, so erhält man folgende Zahlen: 8642,513319; 2203,406422, die sich verhalten wie: 3,922 und 1; andererseits stehen die Zahlen 120 und 30,33, welche die Anzahl Grammen bezeichnen, die erforderlich waren, um jeden Stab um 1° zu drehen, im Verhältniß von 3,956 : 1 unter einander.

Der unter 3) angeführte Folgesatz wurde an einem eichenen und gläsernen Streifen bewährt.

Zu 4). Ein durch einen Hammerschlag abgeplatteter Messingdraht von $0^m,3$ Länge wurde mehreren Windungsversuchen unterworfen, und zwar nachdem er langsam oder schnell abgekühlt war. Der Windungswinkel betrug 1°. Folgende Tafel enthält die dazu nöthigen Gewichte:

| Zustand des Körpers. | Gewicht. |
|---|---|
| Durch Hämmern gehärtet | 357,5 Gr. |
| Langsam abgekühlt | 370 „ |
| Schnell „ | 357,5 „ |
| Langsam „ | 370 „ |
| Schnell „ | 355 „ |
| Langsam „ | 367 „ |
| Schnell „ | 355 „ |
| Langsam „ | 367 „ |

Versuche mit andern Stäben aus demselben Metalle, so wie aus der Legirung des Tantams, führten zu ähnlichen Resultaten. Lange Stäbe sind zu Versuchen dieser Art nicht wohl geeignet, weil sie nicht der ganzen Länge nach einerlei Elasticität haben, wie besonders daraus hervorgeht, daß man für eine Hälfte eines solchen 1,302 Meter langen vierkantigen Stabes zu einer Windung von 1° ein Gewicht von 110 Gr., für die andere den Abmessungen nach ganz gleiche Hälfte hingegen nur 92 Gr. brauchte.

Formeln in Bezug auf vorstehende Versuche. Es heiße E das Moment einer Kraft, die an dem freien Ende, in einer gegen den Stab senkrechten, Ebene wirkt; l die Länge des Stabes zwischen dem befestigten und dem freien Ende, an welchem die Kraft wirkt; $\varrho$ die Dichte des Stabes, 2h seine Dicke, 2i seine Breite, im Fall es ein paral

pipedischer Stab ist, $\varepsilon$ sein Radius, im Fall es ein cylindrischer Stab ist; $\psi$ der Drehungswinkel, welcher durch das Moment E der am freien Ende wirkenden Kraft hervorgebracht wird, k den bekannten, von der Elasticität des Stabes abhängigen, constanten Coefficienten, welcher durch Versuche über das Verhältniß zwischen ziehender Kraft und linearer Verlängerung des Stabes ausgemittelt werden kann (vergl. die spätern Formeln über Schallgeschwindigkeit oder S. 53); $\pi$ das Verhältniß des Umkreises zum Durchmesser. Der Stab wird als sehr dünn im Verhältniß zu seiner Länge vorausgesetzt und die Wirkung äußerer Druckkräfte darauf vernachlässigt. Die Elasticität wird für gleich nach allen Richtungen angenommen.

Man hat nach Poisson *) für einen cylindrischen Stab

$$\psi = \frac{2 E l}{\pi k \varepsilon^4}$$

nach Cauchy **) für einen parallelepipedischen Stab

$$\psi = \frac{3}{16} \frac{E l}{k} \frac{(i^2 + h^2)}{h^3 i^3}$$

und, wenn er einen quadratischen Durchschnitt von 2 i Seite hat

$$\psi = \frac{3}{16} \frac{E l}{k i^4}$$

dagegen, wenn die Dicke 2 h sehr klein gegen die Breite 2 i ist

$$\psi = \frac{3}{16} \frac{E l}{k h^3 i}.$$

Unter denselben Voraussetzungen, als den vorigen, bloß mit dem Unterschiede, daß der parallelepipedische Stab nicht nach allen Richtungen als gleich elastisch vorausgesetzt wird, hat Cauchy folgende Gleichung gefunden:

$$\psi = \frac{3}{16} \frac{E l}{h^3 i^3} \left(\frac{i^2}{i^1} + \frac{h^2}{h^1}\right)$$

hier sind $i^1$ und $h^1$ Größen, welche von dem Elasticitätszustande des Stabes auf eine, durch die Versuche selbst zu bestimmende, Weise abhängen.

## Drehwage.

**Anwendung von Glasfäden zu Drehwagen.** Ritchie ***) empfiehlt als vorzüglich geeignet für Drehwagen die Anwendung feiner Glasfäden statt der gewöhnlichen Metallfäden, indem ein hinlänglich feiner Glasfaden nach seinen Versuchen, auch wenn er wohl 100 mal um sich selbst gedreht worden ist, doch beim Nachlassen der drehenden Kraft ganz wieder in seine ursprüngliche Lage zurückkehrt. Er beschreibt eine mit einem solchen Glasfaden construirte Multiplicatordrehwage zur Messung galvanischer Wirkungen, deren Einrichtung wir, da sie im übrigen nicht

*) Pogg. XIII. S. 396. oder Mém. de l'Acad. T. VIII. p. 454.

**) Cauchy Exerc. IV. p. 40. 60. 63. oder Mém. de l'Acad. des sc. 1830. IX. 122.

***) Philos. transact. 1830. P. I. p. 215. Schweigg. J. LXI. 384.

zweckmäßig ist, nicht mittheilen werden. Die Beschreibung der feinen Gewichtswage, die er ebenfalls mittelst eines solchen Glasfadens construirt hat, ist schon S. 7 gegeben worden.

Störung der Drehwagen durch thermoelektrische Wirkungen *). Muncke bemerkte an einer Coulombschen Drehwage, bestehend aus einem Coconfaden, der, oben befestigt, durch einen 18 Zoll hohen Glascylinder in eine, mit letzterm verbundene, gläserne Halbkugel herabhing und unten (innerhalb der Halbkugel) als Wagebalken ein 8 Zoll langes Glasstäbchen von ½ Lin. Dicke trug, an dessen einem Ende ein Kügelchen von Sonnenblumenmark (von etwa 1 Lin. Durchm.), am andern bloß etwas Blattgold als Gegengewicht befestigt war, folgende merkwürdige Erscheinung:

Der Wagebalken des Apparats, welcher auf einem Tische an einem Fenster des physikalischen Cabinettes stand, zeigte eine automatische Bewegung, indem das Kügelchen entweder nach dem Fenster gegen Osten, oder nach dem Saale gegen Westen gerichtet war, und eine dieser Richtungen wieder annahm, um welchen beliebig großen Winkel auch die Halbkugel oder der Stift mit dem Coconfaden gedreht werden mochte. Da diese Bewegung eben so gut des Nachts als bei Tage, eben sowohl in luftleerem als luftvollen Raume erfolgte, wie sich Muncke überzeugte, so konnte kein Einfluß des Lichts oder von Luftströmungen dabei im Spiele sein, und es blieb nach Erwägung der möglichen Ursachen nichts übrig, als eine Wirkung der Wärme darin zu sehen, wofür zunächst auch sprach, daß die Drehung jederzeit erfolgte, wenn die äußere Temperatur sich um 3° bis 5° R. gegen die im Zimmer änderte, wobei das Kügelchen stets der Richtung der Wärmeströmung entgegenstand.

In der That überzeugte sich Muncke durch fernere Versuche, mit Annäherung eines mit heißem Wasser gefüllten blechernen Würfels, daß die ganze Erscheinung nichts anders als eine thermoelektrische Wirkung sei, abhängig nämlich von der Elektricität, welche eine, wenn selbst nur geringe, Erwärmung in dem Glase erzeugte, vermöge welcher Elektricität der Wagebalken nach der Richtung der erwärmenden Ursache angezogen ward. Das Nähere hierüber siehe in der Elektricitätslehre.

---

## VI. Reibung und Adhäsion fester Körper.

---

### Reibung.

Über Reibung verschiedener Körper. Rennie hat in den Philos. Transact. 1829. I. 143 eine ausgedehnte Versuchsreihe über die Reibung fester Körper an einander bekannt gemacht; da jedoch dieser Band

*) Pogg. XX. 417.

der Philos. transact. jetzt nicht von mir hat erlangt werden können, der im Bullet. des sc. XII. 426 enthaltene Auszug daraus aber sehr ungenügend zu sein scheint (was häufig von diesen Auszügen gilt), so werde ich in der nächsten Fortsetzung dieses Repertoriums die Resultate dieser Versuche nachtragen.

Reibung des Sandes auf schiefen Oberflächen. Huber Burnand *) beobachtete, als isolirte Sandkörner auf eine bewegliche Ebene (es ist nicht angegeben, aus welcher Substanz) gebracht wurden, die sich unter verschiedenen Winkeln neigen ließ, daß sie nicht leicht eher herabglitten, als bei einem Neigungswinkel von 30°. Manche jedoch blieben bis zu einem Winkel von 40° darauf liegen; keiner aber vertrug einen größern Winkel, ohne der Wirkung der Schwere zu folgen.

Der Verfasser bemerkt hiebei, daß, wenn ein Sandhaufen auf einer horizontalen Ebene ruht, und man einen Theil dieser Ebene unterhalb wegnimmt, so daß ein Theil des Sandhaufens einstürzt, der Haufen an der Stelle, wo der Einsturz erfolgt ist, eine Neigung unter einem Winkel von 30° bis 33° behalten wird. Bei Haufen von Erbsen oder Schrotkörnern findet ungefähr dasselbe Statt.

## Adhäsion.

Adhäsion der Metalle an einander, von Prechtl**). Prechtl hat Versuche über die Adhäsion, welche vollkommen ebene und polirte Platten (von nahe $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser) in unmittelbare Berührung mit einander gebracht, äußern, angestellt, indem er durch Gewichte maß, wie viel Kraft zu ihrer Losreißung von einander erforderlich sei***). Es ergab sich dabei das merkwürdige Resultat, daß diejenige Adhäsion, welche zweien Scheiben aus einem und demselben Metalle zukommt, auch die Adhäsion ist, welche diesem Metalle mit jedem andern von geringerer Adhäsion mit sich selbst zugehört. Z. B. eine Kupferscheibe hing zusammen mit einer Kupferscheibe mit einer Kraft von 21 Gran; mit eben der Kraft hing nun die Kupferscheibe zusammen mit einer Wismuth-, Zink-, Zinn-, Bleischeibe u. s. w., obgleich die Ad-

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLI. 165.

**) Pogg. XV. 223.

***) An dem einen Balken einer sehr empfindlichen Wage wurde eine dieser Platten, genau äquilibrit, so aufgehangen, daß ihre polirte Fläche sich in einer horizontalen Lage befand und unter derselben die zweite Platte, mit welcher der Versuch angestellt wurde, gleichfalls horizontal auf einer Unterlage befestigt. Die beiden Platten wurden nun mit einander in Berührung gebracht, so daß die beiden polirten Flächen einander genau deckten und nun wurden auf die Scheibe des zweiten Wagebalkens so lange Gewichte aufgelegt, bis die Trennung der Flächen erfolgte. Während einer zusammengehörigen Reihe von Versuchen fand keine merkliche Änderung in Temperatur und Barometerstand Statt. Die Versuche wurden einigemale, und zwar immer mit frisch polirten Flächen, wiederholt.

häsion zweier Scheiben von einem jeden dieser Metalle geringer war, als jene des Kupfers mit dem Kupfer.

Dieses Resultat ergab sich im Mittel als beständig; obgleich nicht ohne Variationen, die hauptsächlich in dem Umstande liegen, daß die Politung der Flächen nicht bei allen Metallen vollkommen gleich sein konnte. So wird diese Politur durch die krystallinische Structur des Antimons und Wismuths gehindert, und das frisch polirte Blei ist an der Luft so leicht oxydabel, daß es kaum einige Minuten lang seinen ersten Glanz behält. Wurde Zink nach und nach mit den übrigen Metallen in Berührung gebracht, so ergab sich folgende Reihe:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Zink mit Kupfer | = | 21 | Gran |
| = = Silber | = | 21 | = |
| = = Zinn | = | 17 | = |
| = = Wismuth | = | 16 | = |
| = = Antimon | = | 15 | = |
| = = Blei | = | 12 | = |
| = = Zink | = | 10 | = |

Es ist sehr bemerkenswerth, daß diese Reihe mit der galvanischen Spannungsreihe nahe übereinstimmt. Das Zinn geht jedoch dem Antimon, Wismuth und Blei voraus, weil es, frisch polirt, eine viel reinere Fläche hat, als die zuletzt genannten Metalle.

Prechtl will übrigens mit völliger Bestimmtheit gefunden haben, daß die Anziehung der Platten eines und desselben Metalls nicht bloß in der Berührung, sondern auch in der Entfernung Statt habe; ja sie soll schon innerhalb des Abstandes einer halben Linie deutlich bemerkbar gewesen sein, so daß sie durch kleine Gewichte gemessen werden konnte. Die äquilibrirte schwebende Platte wurde von der andern parallelen Platte in einer geringen Entfernung angezogen, bis sich beide Flächen einander berührten, was mit sichtbarer Beschleunigung und einer Art von Stoß geschah. — Diese Erfahrung muß unstreitig erst durch Wiederholung anderer bestätigt werden.

Über ein Adhäsionsphänomen von Camelli *). Das Phänomen besteht darin, daß, wenn man ein, mit einem Tropfen Wasser unten genetztes Uhrglas auf eine Glasplatte legt und diese so neigt, daß das Uhrglas herabgleitet, es dabei eine Rotationsbewegung annimmt. Die Erklärung, welche Camelli von dem Phänomen giebt, ist zu unbestimmt und dunkel, um hier angeführt zu werden.

*) Bullet. univ. des sc. math. XII. 247. aus dem Giorn. accad. delle sc. 1828. T. XXXVII. p. 1.

## VII. Bewegung fester Körper *).

**Über Fortpflanzung der Bewegung in elastischen festen Körpern, von Poisson** **). Aus den Integralen, welche Poisson in den Mém. de l'Acad. T. VIII. p. 623. von den Differenzialgleichungen gegeben hat, welche die Gesetze der Schwingungen fester homogener nach allen Richtungen gleich elastischer Medien ausdrücken, läßt sich folgern, daß, wenn einem begränzten Antheile eines solchen Medium eine Bewegung eingepflanzt wird, im Allgemeinen zwei fortschreitende Wellen entstehen, die sich mit gleichförmiger, aber unter einander verschiedener, Geschwindigkeit fortpflanzen, und zwar so, daß die eine Geschwindigkeit zur andern sich wie $\sqrt{3} : 1$ verhält. So z. B., wenn irgend eine Erschütterung im Innern der Erde ***) Statt fände, so würden wir an ihrer Oberfläche zwei Stöße empfinden, welche durch ein Zeitintervall von einander gesondert wären, das von der Tiefe, in der die Erschütterung Statt gefunden, und der, in dieser ganzen Tiefe als homogen betrachteten, Materie der Erde abhinge.

In einer neuen Arbeit hat nun Poisson die Gesetze dieser Erscheinung, die sich nach der Form, unter der er die Integralen des Problems früher dargestellt hatte, schwer erörtern ließen, weiter verfolgt. Nachstehendes sind die Folgerungen, die sich aus dieser neuen Erörterung ergeben haben.

1) Die beiden Wellen, die sich in einem homogenen festen nach allen Richtungen gleich elastischen Körper fortpflanzen, sind sphärisch und von derselben Dicke.

2) Die Intensität der Bewegung, gemessen durch die, in dieser ganzen Dicke genommenen, Summe der lebendigen Kräfte ****), ändert sich im Fortschreiten jeder dieser Wellen nach dem umgekehrten Verhältniß des Quadrats ihres Radius, und von einem Punkte derselben Welle zum andern nach einem, von der ursprünglichen Erschütterungsart abhängigen, Gesetze.

3) Welche ursprüngliche Richtungen auch die Geschwindigkeiten der Theilchen im Bezirke der anfänglichen Erschütterung besitzen mögen, so blieben doch zuletzt (d. i. in großer Entfernung von dem Orte der anfänglichen Erschütterung) bloß solche Geschwindigkeiten übrig, welche nach den

*) Von den Schwingungsbewegungen fester Körper wird in der Lehre vom Schall die Rede sein.

**) Mém. de l'Acad. 1831. T. X. p. 541.; Inhaltsangabe in Ann. de Ch. et de Ph. XLIV. 423.

***) Für sehr kleine Ortsveränderungen der Theilchen lassen sich selbst Körper, die wir sonst nicht für elastisch zu nehmen pflegen, als solche betrachten.

****) Lebendige Kraft eines Theilchens ist bekanntlich das Product aus der Masse des Theilchens in das Quadrat seiner Geschwindigkeit.

Radien der beweglichen Wellen, und solche, welche senkrecht auf diese Radien gerichtet sind.

4) Die nach der Richtung der Radien vor sich gehenden Geschwindigkeiten haben ausschließlich in den Wellen Statt, welche am schnellsten fortschreiten, und sind von Ausdehnungen begleitet, welche ihnen proportional sind, so daß diese Wellen von derselben Beschaffenheit sind, als die, welche sich in den Flüssigkeiten verbreiten. Die Geschwindigkeiten dagegen, welche senkrecht auf die Radien oder parallel den Oberflächen der Wellen sind, finden, ebenfalls ausschließlich, in den andern Wellen Statt, deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit sich zu der der ersten wie $1 : \sqrt{3}$ verhält; und sie sind von keiner Veränderung in der Dichtigkeit des Mittels begleitet; ein bemerkenswerther Umstand, der sich bei den bisher von Mathematikern untersuchten Undulationsphänomenen noch nicht dargeboten hatte.

5) Damit nur eine einzige Art von Wellen entstehe, muß die ursprüngliche Erschütterung besondern Bedingungen genügen, die in Bezug auf die langsamern Wellen schwer zu erfüllen sind. Was die schnellern anlangt, so entstehen sie allein, d. h. ohne die langsamern Wellen, wenn die Erschütterung nach allen Richtungen um einen gegebenen Punkt auf dieselbe Weise gewirkt hat.

**Fortpflanzung der Erschütterung durch harte Körper.** Cauchy *) hat auf mathematischem Wege gefunden, daß die Fortpflanzung der Erschütterung durch einen ganz der Elasticität beraubten Körper, unter Voraussetzung, daß die lineare Contraction des Körpers nach der Richtung des Drucks der drückenden Kraft einfach proportional sei, ganz nach denselben Gesetzen von der Größe der Volumenänderung, welche die verschiedenen Theilchen des Körpers während eines Augenblicks hiebei erfahren, abhängt, als die Forpflanzung der Wärme durch einen homogenen Körper oder den Raum von der Intensität der Wärme an jedem Punkte, indem die Differenzialgleichungen in Bezug auf diese Umstände ganz dieselbe Form haben.

**Ausfluß des Sandes von Huber Burnand** **). Aus nachfolgenden Versuchen geht hervor, daß der Sand sich in Bezug auf das Quantum, was in einer gewissen Zeit aus Öffnungen ausfließt, ganz anders als tropfbare oder elastische Flüssigkeiten verhält.

**Verfahren bei den Versuchen.** Der Verfasser ließ sich zu seinen Versuchen zwei hölzerne Kasten, einen von 8 Decimeter Höhe auf 3 Decimeter Breite und einen andern von 12 Decimeter Höhe auf 1 Decimeter Breite verfertigen, die oben offen, auf ihrem untern Boden aber mit 4 kreuzförmig angeordneten Schiebern (palettes à coulisses) versehen waren ***), um den Ausflußspalt beliebig erweitern und verlängern zu kön-

*) Exerc. de math. III. p. 146. 185.

**) Ann. de Ch. et de Ph. XLI. 159. (vergl. hiebei S. 65.)

***) Bei einigen besonders feinen Versuchen wurden den hölzernen Schiebern metallene, die nach Millimetern graduirt waren, substituirt.

nen. Der Rand dieser Schieber an der Öffnung wurde zugeschärft, da die Dicke des Holzes ein Hinderniß für die Bewegung des Sandes abgab. Diese beiden Kasten wurden zur Bequemlichkeit der Versuche auf 4 Füße gestellt.

Sowohl das Maß der Zeit, als des Volumens und Gewichts des ausgeflossenen Sandes geschahe mittelst vorzüglicher Instrumente und alle Versuche wurden mehrmals wiederholt. — Der angewandte Sand war mit größter Sorgfalt gesiebt, doch nicht von mehlgleicher Feinheit, Bedingungen, welche der Verfasser zu einem regelmäßigen Fall desselben erforderlich fand, indem bei zu großer Feinheit der Fall häufig unterbrochen ward und massenweise geschahe. Die Ausflußöffnung hatte stets wenigstens 2 Millimeter Breite, was der Verfasser ebenfalls zur Erlangung eines ununterbrochenen Ausflusses als erforderlich erkannte.

Specielle Resultate. 1) Die Quantität Sand, welche in einer gegebenen Zeit durch eine gegebene Öffnung im Boden ausfloß, war ganz gleich, sowohl dem Volumen als dem Gewichte nach, welches auch die Höhe des Sandes im Kasten zu Anfange des Versuchs sein mochte. Differenzen von 2 bis 3 Grammen, die allerdings zuweilen beobachtet wurden, schienen meist nur von der Schwierigkeit abzuhängen, das zur Aufnahme des ausfließenden Sandes dienende Gefäß zur rechten Zeit unterzustellen, und wegzuziehen; sie compensirten sich aber bei Wiederholung der Versuche *).

2) Die, durch eine 2 bis 3 Millimeter breite Spalte ausgeflossene Menge Sandes stand stets in directem Verhältniß der Länge dieser Spalte. Die geringste Veränderung in der Breite Spalte aber brachte in der Quantität des ausfließenden Sandes einen Zuwachs hervor, welcher das einfache Verhältniß der Mündungsoberfläche überstieg.

3) Der Sand, welcher durch Seitenöffnungen in den Wänden des Gefäßes heraustrat, floß mit derselben Geschwindigkeit, welches auch die Höhe der Sandsäule sein mochte. Waren aber die Löcher horizontal durchgebohrt **) und hatten einen Durchmesser, welcher der Dicke des Bretes ungefähr gleich kam, so fiel auch nicht ein Korn Sand durch diese Öffnungen, welches immer die Höhe des Sandes im Kasten sein mochte.

4) Schüttet man Sand in einen Schenkel einer zweimal rechtwinklich gebogenen Röhre, so steigt er nicht wieder im andern Schenkel auf, wie eine Flüssigkeit thun würde, kaum erstreckt er sich von der nächsten Biegung eine sehr kleine Weite in den horizontalen Theil der Röhre hinein.

*) Gewöhnlich wurde der Ausfluß zweimal hinter einander jedesmal $1\frac{1}{2}$ Minute lang dauern gelassen. Waren die ausgeflossenen Quantitäten merklich gleich, so wurde das Resultat für gültig angesehen, die Quantitäten wurden zusammenaddirt, und mit andern verglichen, die bei einer andern anfänglichen Höhe des Sandes erhalten wurden. Wiewohl diese Höhe vom Einfachen auf das Zehnfache abgeändert wurde, blieben sich doch die ausgeflossenen Quantitäten stets gleich.

**) d. h. wahrscheinlich war die Ebene der Löcher vertical, da dies eine horizontale Richtung beim Acte des Durchbohrens voraussetzt.

5) Welchen Druck man auch auf den in einem Kasten enthaltenen Sand wirken lassen mag, er äußert nicht den geringsten Einfluß auf die Menge des Sandes, welche durch eine gegebene Öffnung ausfließt, die sich auf dem Boden oder an den Seiten des Kastens befindet. Der Versuch wurde successiv mit Eisenmassen von 12 und 25 Kilogrammen angestellt.

6) Ein Lineal, welches senkrecht in den obern Theil der Sandsäule, genau in der Richtung der untern Öffnung, gepflanzt wird, steigt im Sande und mit dem Sande herab, ohne sich auf irgend eine Seite zu neigen, mit vollkommen gleichförmiger Bewegung, fast eben so gleichförmig als eine Uhr. Auch ein, in das Innere des Kastens gebrachtes, und außen mit einem Zeiger versehenes, Schöpfrad (roue à godets) bewegte sich mit einer erstaunenswerthen Regelmäßigkeit, aber sehr langsam.

Ist dagegen das Lineal anstatt im Mittelpunkte der Bewegung mehr nach den Rändern des Kastens zu angebracht, so neigt es sich mit bewundernswerther Gleichförmigkeit, wie der Zeiger einer Uhr, zugleich aber steigt es herab und schreitet mit sehr langsamer Bewegung nach dem Mittelpunkte fort.

**Merkwürdige Bewegungserscheinung an einer tönenden Glasröhre.** Nach Weber*), wenn man eine 4 bis 6 Fuß lange, cylindrische Glasröhre (von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{2}{3}$ par. Lin. dickem Glase und 3 bis 6 Lin. Durchmesser im Lichten) nimmt, das eine Ende mit einem Stöpsel verschließt, den man unmittelbar am Glase abschneidet, die Röhre vertical, das verschlossene Ende abwärts gekehrt, mit der einen Hand locker in ihrer Mitte hält und nun mit einem sehr nassen Tuchlappen die obere Hälfte der Röhre von Oben nach Unten streicht, so daß sie sehr stark den longitudinalen Grundton giebt, so rückt der Stöpsel in die Höhe, und zwar steigt er um so schneller, je stärker die Röhre tönt, bis er in der Mitte der Röhre, wo sich der Schwingungsknoten befindet, stehen bleibt **). Selbst, wenn die Glasröhre sehr schwach conisch gestaltet ist, vermag der Stöpsel vom untern Ende aus in die Höhe zu steigen. Weber goß auf den Stöpsel eine Wassersäule von mehreren Fuß Höhe und wiederholte den Versuch und der Stöpsel hatte eine so große Steigkraft, daß er die ganze Wassersäule mit sich in die Höhe hob. Als die ganze, 4 Fuß 3 Zoll lange, Röhre mit Wasser gefüllt und oben fest mit einem Stöpsel verschlossen ward, ohne daß Luft in der Röhre zurückgeblieben war, äußerte der Stöpsel bei Wiederholung des Versuchs seine Steigkraft so stark, daß er nicht allein die ganze Wassersäule in die Höhe schob, sondern daß er noch durch die Poren und Klinsen des oberen Stöpsels und zwischen dem Stöpsel und dem Glase das Wasser in einer Menge feiner Strahlen nach

*) Schweigg. LIII. 308.

**) Man muß sich hiebei in Acht nehmen, nicht durch allzuheftige Schwingungen, die auch durch wiederholtes sanftes Streichen entstehen können, die Glasröhre zu zerbrechen.

allen Seiten mit großer Gewalt heraustrieb. Die Bewegung des Stöpsels aufwärts war bei diesen Hindernissen langsamer, auch erreichte der Stöpsel nicht die Mitte der Röhre, stieg aber doch vom untern Boden derselben 4 bis 5 Zoll in die Höhe. Der longitudinale Grundton der zu diesen Versuchen angewandten Glasröhre war etwas höher als $\overline{\overline{\overline{b}}}$ und etwas tiefer als $\overline{\overline{\overline{h}}}$.

Stern*) hat diese Versuche mit einigen Abänderungen wiederholt, indem er statt eines Stöpsels Streifen von starkem Papier, die er zusammengerollt in die Röhre brachte, anwandte. Er bestimmt die Bewegung näher auf folgende Weise: faßt man die Röhre in der Mitte zwischen zwei Fingern, hält sie vertical und bringt den Streifen in die untere Hälfte der Röhre, so wird er aufwärts steigen, sobald man in der obern oder untern Hälfte der Röhre abwärts streicht; bringt man dagegen unter denselben Umständen den Streifen in die obere Hälfte der Röhre, so wird er abwärts**) steigen; zugleich bemerkt man manchmal eine rotirende Bewegung in dem Streifen. Aber nicht bloß, wenn der Streifen die inneren Wände berührt, bemerkt man diese Bewegung. Man nehme einen starken Papierstreifen und bohre in die Mitte ein Loch, so daß er eine gewisse Glasröhre genau umschließt, so wird sich der Streifen auf dieselbe Weise bewegen, als wenn er in der Röhre wäre. Es ist auch nicht nöthig, daß man die Röhre vertical hält, sondern sie kann eben so gut geneigt oder horizontal sein.

## Bewegung fester Körper in Widerstand leistenden Mitteln.

Man hat zum Theil bis auf die neueren Zeiten die Bahn und Geschwindigkeit abgeschossener Kugeln nach der Newtonschen Voraussetzung, daß der Widerstand der Luft dem Quadrat der Geschwindigkeit der Kugeln proportional sei, zu berechnen gesucht. Als man jedoch die Resultate der nach dieser Annahme geführten Berechnungen mit den Erfahrungen verglich, zeigte sich, daß der wirkliche Widerstand immer größer ausfiel, als ihn die Rechnung ergab, vorzüglich bei so großen Geschwindigkeiten, als den Kugeln gewöhnlich mitgetheilt werden. Bei sehr kleinen Geschwindigkeiten allerdings war dieser Unterschied unmerklich, so daß bei diesen die Annahme, daß der Widerstand dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional sei, für richtig gelten konnte; allein je mehr die Geschwindigkeit des Körpers vergrößert wurde, desto mehr nahm das Verhältniß des berechneten Widerstandes zum beobachteten zu.

Robins und Euler haben diesen Umstand in die Rechnung aufzunehmen gesucht. Glücklicher jedoch als diese scheint in der Lösung des Pro-

*) Schweigg. LXI. 261.

**) Unstreitig durch einen Druckfehler steht im Original hier ebenfalls aufwärts.

blems Schmidt (in Göttingen) in einer besondern kleinen Schrift*) gewesen zu sein, in welcher er neue Untersuchungen über den Widerstand eines elastischen Mittels gegeben hat.

Seine von den frühern verschiedene Lösung des Problems gründet sich darauf, daß er die Verdichtung, welche die Luft vor der Kugel erfährt, und den dadurch vermehrten Druck mit in Rechnung nimmt, was bei der Newtonschen Theorie vernachlässigt worden ist. Diese Verdichtung wird übrigens von ihm als nur sehr wenig von der Oberfläche der Kugel an sich fort erstreckend vorausgesetzt; was eine ähnliche Behandlung des Problems erlaubt, als diejenigen Probleme, welche sich auf die Betrachtung von Molecularkräften gründen.

Was den Druck, der auf die hintere Seite der Kugel ausgeübt wird, anlangt, so setzt ihn Schmidt dem gewöhnlichen Drucke der atmosphärischen Luft gleich **). Der Widerstand der Luft wird nach solcher Herleitung durch eine Formel ausgedrückt, in welcher das Quadrat der Geschwindigkeit als Exponent vorkommt; diese Formel reducirt sich bei sehr kleinen Geschwindigkeiten wirklich auf das Quadrat der Geschwindigkeit; allein bei Geschwindigkeiten, welche mehrere tausend Fuß betragen, sind die Glieder, welche dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional gesetzt werden, bei Weitem unwirksamer, als die höheren Potenzen; auch ändert sich das Gesetz selbst nach der Gestalt des Körpers.

Theilen wir jetzt die Ausdrücke selbst mit, welche Schmidt für den Widerstand auf verschiedene Körper gefunden hat. Für den Widerstand auf eine Kugel ergiebt sich folgender:

$$\pi p r^2 \omega \left[\frac{e^q - (q+1)}{q}\right] \qquad (1)$$

wo $\pi = 3{,}14159 \ldots$; $e = 2{,}71828 \ldots$; $p$ die Höhe einer Quecksilbersäule, welche dem Druck der Luft das Gleichgewicht hält in Metern; $r$ der Radius der Kugel in Metern; $\omega$ das Gewicht eines Cubikmeters

*) Theorie des Widerstandes der Luft bei der Bewegung der Körper von Dr. J. C. Ed. Schmidt. Göttingen, 1831.

**) Er äußert in diesem Bezuge: „Es dürfte nun wohl im Allgemeinen unmöglich sein, die mannigfaltigen Bewegungen und Stöße der Luft hinter dem Körper analytisch zu entwickeln, allein bei einiger Überlegung bemerkt man wohl, daß man nicht viel fehlen werde, wenn man im Mittel den Druck auf jedes Element der hintern Seite des Körpers gleich dem gewöhnlichen Druck der atmosphärischen Luft setzt, welches auch durch die Übereinstimmung der aus dieser Hypothese abgeleiteten Resultate mit der Beobachtung übereinstimmt.“

Ich gestehe, daß es mir aus demselben Grunde, warum vor der Kugel eine (sich nur sehr wenig von der Kugel fort erstreckende) Verdichtung der Luft anzunehmen ist, wahrscheinlich erscheinen würde, daß hinter derselben eine ähnliche Verdünnung Statt finde. Indeß kenne ich die Gründe nicht, die Schmidt bestimmt haben, einen mit dem gewöhnlichen Luftdruck gleichen Druck hinter der Kugel für wahrscheinlicher zu halten.

Quecksilber; $q = \frac{v^2}{2\varkappa}$; $v$ die Geschwindigkeit der Kugel in Metern in einer Secunde; $\varkappa$ der constante Coefficient, welcher das Verhältniß des Drucks zur Masse der Volumeneinheit der Luft ausdrückt, und von Schmidt für 0° C. zu 78319 (bei metrischem Maße) angenommen wird*).

Der Ausdruck des Widerstandes auf einen Cylinder andrerseits, der sich in der Richtung seiner auf der kreisförmigen Basis (vom Radius r) senkrecht stehenden Axe bewegt, ist folgender:

$$\pi\, p\, r^2\, \omega \left[e^q - 1\right] \qquad (2)$$

Entwickelt man die in den Klammern enthaltenen Werthe, so erhält man für den Widerstand auf eine Kugel:

$$\pi\, p\, r^2\, \omega \left[\frac{q}{2} + \frac{q^2}{1.2.3.} + \frac{q^3}{1.2.3.4.} + \ldots\right] \qquad (3)$$

und auf die Basis eines Cylinders:

$$\pi\, p\, r^2\, \omega \left[\frac{q}{1} + \frac{q^2}{1.2.3.} + \frac{q^3}{1.2.3.4.} + .\right] \qquad (4)$$

Es ergiebt sich hieraus, daß, so lange die Geschwindigkeit so klein ist, daß man die zweiten und höheren Potenzen von q vernachlässigen kann, der Widerstand gegen eine Kugel, deren größter Kreis der Basis des Cylinders gleich ist, nur halb so groß, als gegen den Cylinder ist, wenn beide Körper einerlei Geschwindigkeit haben, wie die Versuche auch gezeigt haben. Streng genommen ist dies Verhältniß immer kleiner als $\frac{1}{2}$.

Für die Beziehung zwischen Geschwindigkeit und zurückgelegtem Wege einer Kugel unter Berücksichtigung des durch (1) bestimmten Luftwiderstandes ergiebt sich nach Schmidt's Entwickelung nachfolgende Gleichung, die jedoch bloß für den einfachen Fall gilt, wo die Kugel in gerader Linie fortgeht, also auf die Schwerkraft keine Rücksicht genommen wird, welches indeß eine bedeutende Näherung zu dem Fall ist, wenn die Kugel horizontal abgeschossen wird.

$$\log.\text{nat.} \left[\frac{1 - (1 + q')\, e^{-q'}}{1 - (1 + q)\, e^{-q}}\right] = \frac{g \pi r^2 p}{m \varkappa} (x - x') \qquad (5)$$

*) Dieser Coefficient erhält bei t Grad Temperatur C. folgenden Werth:

$$78319\ (1 + 0{,}00375\ t)$$

und steht für verschiedene Gasarten im umgekehrten Verhältnisse ihrer Dichtigkeit. Die Data, die dieser Bestimmung zu Grunde liegen, sind, daß bei einer Barometerhöhe von 0,76 Meter und 0° C. Temperatur die Dichtigkeit des Quecksilbers 10506 Mal so groß als die der atmosphärischen Luft, und daß das Doppelte des Fallraums in einer Secunde = 9,8088 Meter ist. Man hat nämlich:

$$\varkappa = \frac{g\, \varpi\, \eta}{\Pi}\ (1 + 0{,}00375\ t)$$

wenn g das Doppelte des Fallraums in der ersten Secunde; $\Pi$ das Gewicht der Einheit des Volumens Luft bei 0° und unter dem Druck, welcher durch eine Quecksilbersäule von der Höhe $\eta$ gemessen wird; $\varpi$ das Gewicht der Einheit des Volumens Quecksilber bei 0° C.; t hunderttheilige Temperaturgrade sind.

Hierin bedeuten x und x′ die Entfernung zweier Punkte der Bahn vom Anfang derselben; q und q′ die an diesen Punkten respectiv stattfindenden Werthe von $\frac{v^2}{2\varkappa}$ und $\frac{v'^2}{2\varkappa}$, (wo $v$ die Geschwindigkeit der Kugel am Punkte x, $v'$ die am Punkte x′ ist); die übrigen Buchstaben haben die frühere Bedeutung.

Nach dieser Formel kann man leicht finden, welchen Weg (x — x′) zwischen zwei Punkten die Kugel zurücklegen muß, um von einer gewissen Geschwindigkeit ($v'$) auf eine gewisse andere Geschwindigkeit ($v$) herabzukommen; die umgekehrte Aufgabe jedoch, aus dem zurückgelegten Wege die Geschwindigkeit zu finden, die entweder zu Anfange oder Ende desselben Statt findet, wenn eine von beiden als gegeben angesehen wird, läßt sich bloß durch Versuche finden, da die Gleichung zwischen q und x transcendent ist. Nur in dem Falle, wo der zurückgelegte Weg sehr klein ist, kann man dieselbe direct durch Annäherungsformeln finden, wie im Original näher erörtert ist.

Die Relationen zwischen der verflossenen Zeit und der Geschwindigkeit oder dem zurückgelegten Wege lassen sich nicht durch geschlossene Formeln darstellen. Schmidt entwickelt für denselben Fall als den vorigen (horizontale Bewegung einer Kugel bei vernachlässigter Schwere) folgende:

Es sei T die vom Anfange der Bewegung an verflossene Zeit,

$$\mu = \frac{g\pi r^2 p}{m\varkappa},$$

und für T = o sei der Werth von q = q′, dann hat man

$$T\mu\sqrt{2\varkappa} = C + \frac{1}{\sqrt{q}}\left\{\begin{array}{l} 4 + \frac{4}{3}q - \frac{1}{27}q^2 - \frac{1}{675}q^3 \\ + \frac{1}{11340}q^4 + \frac{1}{61236}q^5 \ldots \end{array}\right\}$$

wo C durch folgende Formel bestimmt wird:

$$C = -\frac{1}{\sqrt{q'}}\left\{\begin{array}{l} 4 + \frac{4}{3}q' - \frac{1}{27}q'^2 - \frac{1}{675}q'^3 \\ + \frac{1}{11340}q'^4 + \frac{1}{61236}q'^5 \ldots \end{array}\right\}$$

Schmidt erläutert die hier mitgetheilten Formeln durch Anwendung auf Beispiele und zeigt an einem Versuche von Hutton, daß die Berechnung des zurückgelegten Weges aus zwei beobachteten Geschwindigkeiten mittelst der Formel (5) wirklich Werthe giebt, die sich so nahe als man nur wünschen kann, an die beobachteten anschließen. Hutton fand nämlich mittelst des ballistischen Pendels, daß eine eiserne Kugel von 0,98 engl. Zoll Halbmesser bei einer Ladung von 1 Pf. Pulver (unstreitig horizontal abgeschossen), nachdem sie sich 30 engl. Fuß von der Mündung der Kanone entfernt hatte, eine Geschwindigkeit von 2088 Fuß besaß, und in einer Entfernung von 360 Fuß von der Mündung der Kanone hatte die Geschwindigkeit auf 1582 Fuß abgenommen. Die Wegsdifferenz, welche den

Geschwindigkeiten 2088 und 1582 Fuß entspricht, ist sonach 330 Fuß. Die Berechnung nach Formel (5) giebt 337,9 Fuß; während, wenn man diese Entfernung nach der ältern Theorie berechnet, man 729,6 Fuß, also mehr als doppelt so viel gefunden haben würde.

Schließlich wollen wir noch die allgemeinen Formeln für den Widerstand der Luft auf Körper von beliebiger Form mittheilen, aus welchen die Formeln (1) und (2), die respectiv für eine Kugel und einen Cylinder gelten, abgeleitet sind.

Es sei $dS$ die Größe eines Flächenelements, das sich mit der Geschwindigkeit $v$ fortbewegt und mit der Richtung der Bewegung den Winkel $\psi$ macht. Dann ist folgendes der Ausdruck für den Widerstand, welchen das Flächenelement nach der Richtung der Bewegung erfährt:

$$\omega\, p\, e^{\frac{v^2 \sin.^2 \psi}{2x}} . \sin. \psi . dS.$$

Will man diesen Widerstand für die ganze Vorderfläche eines Körpers erhalten, so muß man das Integral dieser Differenzialformeln innerhalb der gehörigen Gränzen nehmen.

Von diesem Druck muß nun aber, um das Resultat für den ganzen Körper (wenn wir den auf die Richtung der Bewegung senkrechten Druck aus der Acht lassen) *) zu erhalten, der Druck, der auf die hintere Seite des Körpers geäußert wird, abgezogen werden. Legt man mit Schmidt die Voraussetzung zu Grunde, daß er dem gewöhnlichen atmosphärischen Druck gleich sei, so wird er auf ein Flächenelement $dS'$, das den Winkel $\psi'$ mit der Richtung der Bewegung macht, folgenden Ausdruck haben:

$$\omega . p \sin. \psi' dS'.$$

Dieser Ausdruck wird wiederum, um den Druck für die ganze Hinterfläche zu erlangen, bis zu den Gränzen zu integriren sein, wo der Vorderdruck zu wirken aufhört. Da letzterer Druck dazu dient, die Bewegung wieder zu vermehren, so wird der Unterschied zwischen beiden Integralen den eigentlichen Widerstand der Luft ausdrücken, man hat daher:

$$\omega . p \int e^{\frac{v^2}{2x} \sin.^2 \psi} . \sin. \psi . dS - \omega . p \int \sin. \psi' . dS'$$

für den Ausdruck des ganzen Widerstandes der Luft.

*) Dieser hebt sich bei allen denjenigen Körpern, bei denen die Richtung der Bewegung durch den Schwerpunkt geht und die Richtungslinie eine Axe des Körpers ist, gegen welche die Oberfläche desselben symmetrisch ist, gegenseitig auf.

## VIII. Druck, Zusammendrückung, Capillaritäts-Erscheinungen tropfbarer Flüssigkeiten.

Über das Princip der Gleichheit des Drucks nach allen Richtungen in Flüssigkeiten, von Poisson *). Die Hydrostatik gründet sich auf das Princip der Gleichheit des Drucks nach allen Richtungen, welches man gewöhnlich als ein Datum der Erfahrung für den Gleichgewichtszustand der Flüssigkeiten ansicht, und durch Analogie auf ihren Bewegungszustand übergetragen hat, ohne daß es für diesen je durch Beobachtung erwiesen worden wäre. Poisson zeigt nun durch Betrachtungen, die ich im Wesentlichen unten mittheilen werde, daß dies Princip in der That für Flüssigkeiten, die in Bewegung sind, nicht für gültig erachtet werden kann, mithin:

> daß in Flüssigkeiten, die in Bewegung sind, keine Gleichheit des Drucks nach allen Richtungen Statt finde;

ein für die Theorie der Bewegungen der Flüssigkeiten höchst wichtiger Satz, indem er die bisher für allgemein gültig erachteten, in allen Lehrbüchern der höhern Mechanik vorfindlichen, Bewegungsgleichungen der Flüssigkeiten, welche man durch Combination des d'Alembertschen Princips mit den Gleichgewichtsgleichungen der Flüssigkeiten **) erhält, abzuändern nöthigt, welche Änderungen auf die daraus zu ziehenden Folgerungen nicht ohne Einfluß sein können.

In diesem Bezuge möchte vor Allem Bemerkung verdienen, daß die große Schwierigkeit, welche der Undulationstheorie des Lichts bisher entgegengestanden hat, nämlich die ungleiche Brechbarkeit der verschiedenen Farbestralen zu erklären, durch die neue Betrachtungsart des Bewegungsstandes der Flüssigkeiten, welche die Berücksichtigung des vorigen Umstandes erfodert, vielleicht ihre Erledigung finden wird ***); so wie durch sie vielleicht auch die, bis jetzt ebenfalls noch nicht genügend erklärte, Abweichung, welche zwischen der beobachteten Schallgeschwindigkeit und derjenigen, die man aus dem Tone der Blasinstrumente nach der gewöhnlichen Theorie berechnet, erklärlich werden wird. Es wird unstreitig zweckmäßig sein, die ganze, in Poisson's Note auf diesen Gegenstand bezügliche, Stelle mit seinen eigenen Worten herzusetzen:

*) Nach den Ann. de Ch. et de Ph. XLII. 145. und XLIV. 423. Die Abhandlung selbst, von der hier Nachricht gegeben wird, und die Gleichungen, auf die darin verwiesen wird, werden sich im Cah. XX. des Journal de l'école polyt. befinden, das aber bis jetzt noch nicht erschienen ist.

**) Vergl. hierüber u. a. Mécanique par Poisson II. p. 332. 443.

***) Doch macht Cauchy, nach welchem in dem Äther bei Fortpflanzung der Lichtschwingungen kein Druck Statt findet, diese Erledigung von einem andern Umstande abhängig. Vergl. Mém. de l'Acad. 1831. T. X. p. 304. 310. 316.

„Die Bewegungsgleichungen der Flüssigkeiten, die ich erhalten habe, sind nicht dieselben, als die, welche sich durch Combination der Gleichgewichtsgleichungen der Flüssigkeiten mit dem d'Alembertschen Princip ergeben. Sie gelten gleicherweise für die tropfbaren und gasförmigen Flüssigkeiten; die einen für ihr Inneres, die andern für ihre freie oder mit einer festen Wand in Berührung befindliche Oberfläche. Man wird sie auf die Bewegung der Flüssigkeiten anwenden können, die in Röhren enthalten sind, deren Wände verzögernd auf die Geschwindigkeiten der ihnen nahe liegenden Theilchen wirken. Auch wird es zweckmäßig sein, die neuen Glieder (termes), die ich in die Gleichungen eingeführt habe, bei der genauen Vergleichung der in freier Luft beobachteten Schallgeschwindigkeit mit der, von der ersten zufolge Dulong's neuern Versuchen *) merklich verschiedenen, welche aus dem Tone des Blasinstrumente geschlossen wird, zu berücksichtigen. Ganz besonders aber wird ihre Berücksichtigung nöthig werden, wenn es sich um die noch raschern Schwingungen des Äthers handelt, denen man nach der Undulationstheorie die Erscheinungen des Lichts beimißt. Diese Glieder werden von der Dauer jeder Schwingung abhängen, und aus diesem Grunde wird ihre Betrachtung dienen können, eine der größten Schwierigkeiten zu heben, welche die Undulationstheorie darbietet, die sich nämlich auf die ungleiche Brechbarkeit der verschiedenen Strahlen bezieht. Nach dieser Theorie nämlich unterscheiden sich die Farben, wie die Töne der Tonleiter, von einander durch die Schwingungszahlen, denen sie entsprechen. Da nun die gewöhnlichen Bewegungsgleichungen der Flüssigkeiten bloß ihre Dichtigkeit und elastische Kraft enthielten, so ließ sich schwer begreifen, wie Wellen oder Stralen verschiedener Farben beim Übergange aus einem Mittel in das andere verschiedene Effecte erfahren sollten; diese Schwierigkeit verschwindet aber, wenn die Bewegungsgleichungen außer den, auf beide successive Flüssigkeiten bezüglichen, Datis eine specielle Quantität für jeden Lichtstral enthalten. Ich begnüge mich, hier diese Betrachtung anzudeuten, indem ich mir vorbehalte, sie in der Folge gehörig zu entwickeln."

Die Betrachtungen selbst anlangend, durch welche sich Poisson veranlaßt findet, das Princip der Gleichheit des Drucks nach allen Richtungen auf die Flüssigkeiten im Bewegungszustande nicht für anwendbar zu halten, so kommen sie, auf eine plane Weise dargestellt, im Wesentlichen auf Folgendes zurück.

In so fern der Druck im Innern einer Flüssigkeit auf den gegenseitigen anziehenden oder abstoßenden Wirkungen ihrer Theilchen beruht (wie man z. B. den Druck in einer gasförmigen Flüssigkeit dem gegenseitigen Streben ihrer Theilchen, aus einander zu weichen, beimessen kann), die Größe dieser anziehenden oder abstoßenden Wirkungen aber in Abhängigkeit von dem gegenseitigen Abstande ihrer Theilchen steht, so leuchtet ein, daß,

*) Pogg. Ann. XVI. 426.

wenn einmal Gleichheit des Drucks nach allen Richtungen um einen Punkt in einer Flüssigkeit Statt findet, diese bei neu hinzukommenden Druckkräften, welche man auf die Flüssigkeit wirken läßt, nur dann wird fortbestehen können, wenn die Abstände der Theilchen, welche in der Wirksamkeitssphäre des Punktes liegen, alle nach gleichen Verhältnissen verkleinert werden, oder die Linear-Contraction um diesen Punkt nach allen Richtungen dieselbe ist. Nun bewirken vermöge der Grundbeschaffenheit der Flüssigkeiten die Druckkräfte, welche man auf sie anwendet, in der That um jeden Punkt eine nach allen Richtungen gleiche Linear-Contraction (ungleich hierin den festen Körpern, die sich bei darauf angewandtem Druck nach der Richtung des Drucks zusammenziehen, während sie sich nach der darauf senkrechten ausdehnen), allein, und dies ist der Punkt, auf den es hiebei ankommt, damit diese Gleichheit der Linear-Contraction nach allen Richtungen zu Stande komme, ist eine gewisse Zeit, welche nicht unendlich klein ist, erfoderlich, eine Zeit, deren Größe sich nach der Beschaffenheit der Flüssigkeit ändern kann, und vor deren Beendigung der Druck in der That nicht gleich nach allen Richtungen ist. Dieser Umstand ist ohne Einfluß auf den definitiven Gleichgewichtszustand der Flüssigkeit, wenn es zu diesem in Folge jener hinzugetretenen Kräfte kommt, wofern man diesen nur nach Verfluß jener Zeit beobachtet, die bei gasförmigen und solchen tropfbaren Flüssigkeiten, welche wenig Zähigkeit haben, jedenfalls sehr kurz sein wird, allein wenn eine rasche Bewegung Platz nimmt, so werden die Abstandsverhältnisse der Theilchen sich nicht eben so schnell herstellen können, als sie bei den continuirlichen Lagenveränderungen gestört werden, und deshalb wird hier die Gleichheit des Drucks nach allen Richtungen nicht eintreten können, wie denn auch wirklich die Erfahrung zu lehren scheint, daß Wasserdampf, der sich durch eine Röhre bewegt, nach Vorn einen sehr starken und seitlich einen sehr schwachen Druck äußert.

## Druck des Meeres.

Schon durch frühere Versuche *) ist bekannt gewesen, daß, wenn eine leere wohl verstöpselte Flasche auf eine bedeutende Tiefe in das Meer gesenkt worden war, sie beim Hinausziehen ganz oder zum Theil voll Wassers gefunden wird; der Stöpsel aber meist wieder an seine Stelle, und was sehr merkwürdig scheint, öfters hiebei in umgekehrter Richtung im Halse steckt. Die Anfüllung der Flasche scheint in diesen Fällen plötzlich zu erfolgen, weil die Person, welche die Flasche hinabläßt, oft eine augenblickliche Vermehrung des Gewichts fühlt, und die Empfindung hat, als wenn sich ein Fisch an die Angel des Fischhakens hängt und schnell zieht.

Die einzige Erklärung, welche von dieser Thatsache möglich scheint, ist die, daß der Druck des Wassers in so großer Tiefe den Stöpsel in die

*) Vergl. u. a. Peron in Gilb. Ann. XIX. 938.

Flasche hineintreibt, welche sich nun mit Wasser füllt, das in großen Tiefegraden selbst einen entsprechenden Grad der Zusammendrückung erfährt, für welchen die Biot I. S. 243. angeführten Versuche das Maß geben können. Beim Heraufziehen nun der Flasche muß sich das Wasser, nach Maßgabe als es von dem Druck des über befindlichen Wassers entlastet wird, wieder mit Gewalt ausdehnen und hiebei wird es dann den Stöpsel wieder in den Hals der Flasche zurücktreiben können.

Indeß sind auch Versuche unter andern Umständen angestellt worden, bei denen sich ein Hineintreiben des Stöpsels in die Flasche nicht annehmen ließ, indem man nämlich die Flasche auf solche Weise verschloß, daß dieser Umstand unmöglich gemacht wurde, und bei denen dennoch zuweilen Wasser in der Flasche angetroffen ward. In diesen Fällen scheint angenommen werden zu müssen, daß das Wasser durch den starken Druck, dem es unterliegt, entweder durch die Poren des Stöpsels hindurchgedrückt wird, wenn die Substanz des Stöpsels dieses erlaubt, oder wenn derselbe, wie bei mehreren Versuchen, von Glas ist, durch die nicht vollkommen schließenden Fugen des Stöpsels mit dem Halse hindurchdrang; was immer viel wahrscheinlicher erscheint, als ein Durchpressen durch die Wände des Glases selbst anzunehmen, welchem ein Zerbrechen derselben, das allerdings in mehreren Fällen *) beobachtet wurde, unstreitig vorangehen müßte.

Die Versuche, welche Green**) in Bezug auf diesen Gegenstand durch den Capitän Dixei anstellen ließ, und welche sich mit diesen Erklärungen sehr wohl vereinigen lassen, sind folgende:

Bei fast ganz ruhigem Meere wurde eine hohle, hermetisch ***) verschlossene, Glaskugel an ein Senkblei befestigt und in das Meer gelassen. 30 Klaftern über der Kugel befestigte man eine kleine, mit einem Glasstöpsel hermetisch verschlossene, Bouteille; 50 Faden über dieser band man an demselben Faden eine Krystallglasbouteille mit langem Halse, in welchem letztern ein genau schließender Pfropf befestigt war, den man mit flüssig gemachtem Pech zudeckte, und darüber noch eine, in geschmolzenes Pech getauchte, Leinwand band, nach deren Erhärtung noch eine zweite solche darüber gefügt ward. 20 Klafter über dieser Flasche wurde eine andere weit stärkere, wie die erstere gestöpselte und verpichte, aber nur einmal verbundene, Flasche angereiht. 30 Klafter darüber befand sich eine kleine Bouteille voll süssen Wassers und gut verstöpselt und petchirt; eine Schneidernadel durchbohrte diesen Stöpsel an mehreren Stellen. — Das Senkblei ward in eine Tiefe von 230 Klafter oder 1380 engl. Fuß hinabgelassen.

Beim Heraufziehen des Fadens, welcher senkrecht hinabgestiegen zu sein schien, ergaben sich folgende Resultate: die mit der Schneidernadel bewaffnete Bouteille, welche in der Reihe die erste war, war halb voll Wasser, Stöpsel und Hülle noch vollkommen erhalten. Der Stöpsel der zwei-

*) Vergl. z. B. Weston in Bull. univ. XI. 191.
**) Kastn. Arch. XVII. 72. oder Baumg. Zeitschr. V. 110.
***) Soll unstreitig nur bedeuten wasserdicht.

ten Bouteille voll süßen Wassers war etwas gehoben und locker, und das in derselben enthaltene Wasser etwas salzig. Die dritte versiegelte und einfach mit einem Stück Tuch bedeckte Bouteille kam leer, und völlig in ihrem ursprünglichen Zustande zurück. Die vierte Bouteille mit langem Halse, deren Stöpsel und Mündung mit doppelter Leinwand verbunden waren, war zerbrochen, und es kam nur jener Theil des Halses zurück, welcher umbunden war, der obere und untere Theil waren verschwunden. — Die fünfte Bouteille, welche zur Aufbewahrung von Äther bestimmt, und aus diesem Grunde mit einem langen Glasstöpsel versehen war, enthielt ungefähr ihren vierten Theil Wasser. Die Glaskugel, die letzte in der Reihe, welche am tiefsten gekommen war, war leer, und hatte nicht die geringste Veränderung erlitten.

Anderweite Versuche über diesen Gegenstand, die jedoch keine neuen Thatsachen enthalten, wird man in folgender Literatur finden:

Dunlop in Edinb. N. phil. J. 1827. Juillet — Sept. 318. oder Bull. univ. XI. 190. — Weston in Edinb. J. of sc. 1829. Janv. 144 oder Bull. univ. XI. 191. — Sowerby in Philos. Mag. 1828. Août. p. 119 oder Bull. univ. XI. 355. XII. 54.

## Zusammendrückung tropfbarer Flüssigkeiten.

Ueber die bei Zusammendrückung tropfbarer Flüssigkeiten wegen des Gefäßes anzubringende Correction. Weil bei Zusammendrückung tropfbarer Flüssigkeiten in dem Sympiezometer (Biot. I. 244) nicht bloß die Flüssigkeit, sondern auch das Gefäß einen (von Innen nach Außen gleich starken) Druck erleidet, so muß wegen der hiedurch bewirkten Änderung im Volumen und der innern Capacität des Gefäßes eine Correction hinsichtlich des Resultates der wahren Zusammendrückung der Flüssigkeit angebracht werden. Colladon und Sturm einerseits (Biot. I. 245) und Örsted andererseits (ebend. 246) haben diese Correction auf eine entgegengesetzte Weise vorgenommen; indem Ersterer die Annahme zu Grunde legte, die Capacität des Gefäßes werde hiebei verkleinert, und die scheinbare Zusammenziehung der Flüssigkeit sei demzufolge kleiner als die wahre; Örsted dagegen umgekehrt annahm, die Capacität des Gefäßes werde (vermöge der durch den Druck bewirkten Verdünnung der Gefäßwände) vergrößert, mithin sei die scheinbare Zusammenziehung größer als die wahre.

Die Entscheidung über diesen Punkt kann auf mathematischem Wege gegeben werden, und in der That hat Poisson *) auf diesem Wege die Lösung der Aufgabe unternommen. Es geht daraus hervor:

1) Daß Colladon und Sturm in so fern Recht haben, als die Capacität des Gefäßes jedenfalls nur verkleinert wird.

*) Ann. de Ch. et de Ph. XXXVIII. 330 oder Pogg. XIV. 177.

2) Daß aber die Correctionsart, die sie angewandt haben (Biot. I. 246), nicht statthaft ist; denn es kann die Zusammenziehung, welche die von einer Gefäßhülle umgebene Flüssigkeit unter den Umständen der in Rede stehenden Versuche erfährt, bald größer bald kleiner ausfallen, als sie ohne die Hülle ausgefallen sein würde. Nämlich:

3) Die beobachtete oder scheinbare Conctration fällt größer dann aus, wenn die Substanz der Flüssigkeit weniger compressibel ist, als die Substanz der Hülle, kleiner dann, wenn sie mehr compressibel ist; und nur, wenn beide Substanzen gleich compressibel sind, zieht sich die Flüssigkeitsmasse gerade so zusammen, als sie sich auch ohne Gegenwart der Hülle zusammengezogen haben würde.

4) Der Unterschied zwischen der scheinbaren und wahren Zusammenziehung der Flüssigkeit verschwindet um so mehr, je dünner die Gefäßhülle wird, ist dagegen am größten, wenn der innere Radius des Gefäßes sehr klein gegen den äußern und die Hülle viel compressibler als die Flüssigkeit ist.

5) Die Regel, um die wahre Zusammendrückung der Flüssigkeit aus der scheinbaren bei kugelförmiger Gestalt der Hülle zu berechnen, ist in folgender Formel enthalten *):

$$Z = \frac{A Z'}{(1 - \zeta B)}$$

Hierin bedeutet Z die wahre, Z' die scheinbare Contraction. $\zeta$ bedeutet das Verhältniß der scheinbaren Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeit zur wahren Zusammendrückbarkeit der Substanz der Hülle, oder, was dasselbe sagt, die scheinbare Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeit, wenn die wahre Zusammendrückbarkeit der Hülle gleich 1 gesetzt ist. Ferner ist der Kürze halber gesetzt:

*) Diese Formel ist eine ziemlich einfache Folgerung der S. 55 und 56 angeführten Formeln. Man hat nämlich nach den dort gegebenen Bestimmungen:

$$Z : Z' = D : 9 x' a^3 \text{ d. i.}$$
$$Z : Z' = x' A + x B : x'$$

mithin:

$$Z = \frac{Z' (x' A + x B)}{x'}$$

In dieser Formel ist die wahre Zusammendrückbarkeit $\frac{1}{x'}$ der Flüssigkeit noch unbekannt, und aus der scheinbaren, die man gefunden hat, zu bestimmen. Setzen wir nun die Zusammendrückbarkeit der Hülle = 1, die gefundene scheinbare Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeit = $\zeta$, so haben wir das Verhältniß:

$$\zeta : \frac{1}{x'} = Z' : Z$$

Der Werth von $x'$, der sich aus dieser Proportion ergiebt, in die vorige Formel substituirt, giebt:

$$Z = \frac{A Z'}{(1 - \zeta B)}$$

wie oben.

$$A = \frac{5a^3 + 4a'^3}{9a^3}; \quad B = \frac{4(a^3 - a'^3)}{9a^3}$$

worin a der äußere, a' der innere Radius der Kugel ist.

Beispiel. Es sei eine kugelförmige Hülle gegeben, deren äußerer Radius sich zum inneren verhält wie 21 : 20. Die scheinbare Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeit sei doppelt so groß gefunden, als die bekannte Zusammendrückbarkeit der Hülle, mithin:

$a = 21$, $a' = 20$, $\zeta = 2$; $A = 0{,}939471$; $B = 0{,}060516$

hieraus ergiebt sich:

$$Z = (1{,}06883)\ Z'$$

hätte man $a = 42$; $a' = 41$, so würde sich finden:

$$Z = (1{,}03306)\ Z'$$

6) Will man die Zusammendrückbarkeit einer Flüssigkeit und eines festen Körpers vergleichen, wenn man bei der ersten die lineare Contraction kennt, die sie durch einen auf ihre ganze Oberfläche gleichförmig und senkrecht wirkenden Druck erfährt, bei dem andern die lineare Contraction oder Verlängerung, die ein sehr dünner gerader Stab aus der Materie dieses Körpers erfährt, wenn man eine Druck- oder Zugkraft gleicher Größe *) auf die Enden des Stabs bei freier Seitenfläche desselben in der Richtung seiner Länge wirken läßt, so ist folgende Regel **) in Rücksicht zu ziehen.

Die Linear-Contraction, welche der Druck, auf letztere Weise angewandt, bewirkt, ist doppelt so groß, als die, welche er unter gleichen Umständen auf erstere Weise angewandt bewirkt.

Diese Regel ist für jede beliebige Gestalt des Körpers, auf dessen ganze Oberfläche man den Druck wirken läßt, gültig, und es geht hieraus hervor, daß die Capacitätsverringerung einer bleiernen Flasche, nach der Contraction eines Stabs von demselben Metall berechnet, bloß die Hälfte von der ist, welche Örsted angegeben hat.

## Capillaritätserscheinungen.

Über die Theorie der Capillarwirkung. Die Verdienste, welche sich Clairaut, Young, Laplace um die mathematische Begründung der Theorie der Capillarwirkungen erworben haben, sind bekannt. Neuerdings sind die Untersuchungen über diesen Gegenstand von Neuem von Gauß in seinen Principia generalia theoriae figurae fluidorum in statu aequilibrii. Gott. 1830 ***) und von Poisson in einem Werke, welches noch unter der Presse ist, wovon aber vorläufig eine Notiz in den Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 61 erschienen ist, vorgenommen worden.

*) D. i. eine Kraft gleicher Größe, als bei der Flüssigkeit, diese Größe auf die Einheit der Oberfläche bezogen.

**) Diese Regel stimmt mit dem S. 55 gegebenen Satze 8) überein.

***) Kurzer Auszug in Bull. univ. 1830. oct. p. 241.

Gauß anlangend, so basirt er seine Theorie auf dieselben physikalischen Grundlagen als Laplace, und seine Theorie unterscheidet sich von der des letztern bloß darin, daß die Gleichgewichtsgleichungen des Problems auf eine andere Weise gebildet und strenger begründet werden *).

Poisson macht gegen Laplace und Gauß den Einwurf geltend, daß sie eine der physischen Bedingungen des Problems übersehen haben, deren Betrachtung zur genügenden Lösung desselben erfoderlich sei, nämlich: die rasche Variation in der Dichtigkeit, welche die Flüssigkeit bei ihrer freien Oberfläche und bei der Wand der Röhre erfährt. Es wird nämlich im Gleichgewichtszustande jede unendlich dünne Schicht im Innern einer Flüssigkeit gleich stark auf ihren beiden Flächen durch die, um die Attractivwirkung verminderte, Repulsivwirkung der Theilchen zusammengedrückt, die in den benachbarten Schichten bis zu der (sehr nahen) Gränze liegen, bis zu welcher der Radius der Molecularwirkung reicht. Jede dünne Schicht nun, die weiter von der Oberfläche entfernt ist, als der Radius dieser Wirksamkeit, wird eine vollständige und gleich starke Wirkung von beiden Seiten erfahren; dagegen ganz nahe an der Oberfläche der Radius der Wirksamkeit oberhalb der Schicht nicht mehr von Theilchen ausgefüllt wird; ja ganz an der Oberfläche wird die Molecularwirkung von dieser Seite null sein, und die unendlich dünne Schicht der Oberfläche bloß noch durch die Wirkung der Atmosphäre zusammengedrückt werden. Die Dichtigkeit der Flüssigkeit muß demzufolge ganz nahe an der Oberfläche nach einem unbekannten Gesetze schnell abnehmen. Ähnliche Betrachtungen lassen sich auf die Flüssigkeitsschichten in der Nähe der Röhrenwände anwenden.

Poisson hat mit Berücksichtigung dieses Umstandes in seiner neuen Theorie die Gleichungen für die gemeinschaftliche Oberfläche zweier, in einer beliebigen Röhre übereinander stehenden, Flüssigkeiten und für ihren Umriß abgeleitet, worunter als besonderer Fall die Gleichungen für die freie Oberfläche einer einzigen Flüssigkeit enthalten sind. Ihre Form ist die nämliche als die der Gleichungen, welche Laplace gegeben hat; aber die Ausdrücke der zwei speciellen Constanten, welche sie enthalten, durch bestimmte Integrale sind ganz verschieden, so daß man auch ganz andere Zahlwerthe finden würde, wenn man diese Constanten, anstatt sie durch Versuche zu bestimmen, direct nach ihren analytischen Ausdrücken berechnen könnte, was jedoch erfodern würde, daß die Gesetze der Wirkung der Röhre auf die Flüssigkeit und der Flüssigkeit auf sich selbst bekannt wären.

*) Namentlich war die für die Herleitung der Gleichungen wesentliche Bedingung, daß die Berührungsebene an der freien Oberfläche der Flüssigkeit und die an der Gefäßwand an der Berührungsgränze von Gefäß und Flüssigkeit einen constanten Winkel mit einander bilden, von Laplace ohne genügenden Beweis angenommen, aber nicht, wie von Gauß geschehen, aus der Wirkung der Gefäßtheilchen auf die Flüssigkeitstheilchen mathematisch hergeleitet worden.

# IX. Bewegungserscheinungen tropfbarer Flüssigkeiten.

## Ausfluß des Wassers aus Röhren und Behältern.

Ausfluß aus Röhren. D'Aubuisson fand, daß die Formel, welche Prony und Eitelwein zur Berechnung der Wasserquantität gegeben haben, welche in einer gewissen Zeit durch lange Leitungsröhren ausfließt, bei den Toulouser Leitungsröhren ein ungefähr um ⅕ zu großes Resultat ergeben. Ein ähnliches Ergebniß ist bei Pariser Leitungsröhren gefunden worden. Die Versuche d'Aubuisson's finden sich im Detail in den Ann. de Ch. et de Ph. XLIII. 244.

Fox *) behauptet, durch Versuche gefunden zu haben, daß, wenn ein Strom Wasser mit einer gegebenen Kraft durch eine Röhre ausgetrieben wird, in gleicher Zeit gleich viel ausfließt, mag die Röhre in Luft oder Wasser ausmünden, gleich viel auch, in welcher Tiefe (6 bis 15 Fuß) unter Wasser und ob nach der Richtung oder gegen die Richtung des Stroms, wenigstens innerhalb gewisser Gränzen. Das Detail der Versuche, deren Resultat nicht sehr wahrscheinlich scheint, ist nicht beigefügt.

Über den Ausfluß durch Mündungen, welche in einer dünnen verticalen Wand angebracht sind.

A. Versuche von Poncelet und Lesbros.

Im Bulletin universel des sc. math. XII. 395 oder Ann. de Ch. et de Ph. XLIII. 386 ist eine Inhaltsanzeige der Versuche gegeben, welche Poncelet und Lesbros zu Metz in den Jahren 1827—1829 auf Verordnung des Kriegsministers über die Gesetze des Ausflußes des Wassers durch rechteckige verticale Mündungen, in sehr großem Maßstabe und mit besonderer Genauigkeit angestellt haben. Das Detail dieser Versuche selbst scheint noch nirgends bekannt gemacht zu sein, indem auch jene Anzeige nur ein Auszug aus einer Analyse dieser Untersuchungen ist, welche am 16. Nov. 1829 von Poncelet in der königlichen Akademie der Wissenschaften vorgelesen worden ist. Dieser Auszug enthält überdies bloß die Resultate eines Theils der Versuche der Verfasser, die nämlich den Ausfluß durch eine, in einer dünnen Wand angebrachte, rechteckige, sowohl von den Seitenwänden als dem Boden des Reservoirs völlig isolirte, Öffnung in ein anderes Reservoir hinein betrifft; während sich die Versuche der Verfasser noch auf verschiedene andere Umstände des Ausflußes erstreckt haben, über die erst Mittheilungen erwartet werden.

Das Behältniß, aus welchem der Ausfluß geschahe, war ein Reservoir von ungefähr 1600 Qu. Meter Oberfläche, in welchem mittelst gehöriger

*) Journ. of the royal Inst. 1831. no. 2. p. 368.

Vorrichtung dem Wasser aller Grade des Niveaus von Null bis 2,70 Meter Höhe gegeben werden konnten. Dies Reservoir wurde mittelst eines größern Reservoirs mit Wasser versorgt, und der Ausfluß aus dem erstern geschahe durch ein kleineres, unmittelbar mit ihm in Verbindung stehendes, Bassin von 3,68 Meter Länge gegen 3 Meter Breite, in welches die zu den Versuchen anzuwendenden Mündungen eingesetzt wurden. Das ausfließende Wasser wurde von einem größern Bassin, welches 24000 Litres Wasser zu fassen vermochte, aufgenommen. Die Zeiten des Ausflusses wurden mit einer vortrefflichen Breguetschen Uhr, welche Zehntel Secunden gab, gemessen, und die Höhen der Mündungen, und die Wasserstände bis zu Zehntheilen des Millimeters bestimmt.

Als Ausflußmündung wurde bei den Versuchen, deren Resultate bis jetzt vorliegen, stets eine rechteckige verticale Mündung von 20 Centimeter Basis bei verschiedenen Höhen, welche durch einen, die Mündung oben begränzenden, beweglichen Schieber (vanne) beliebig abgeändert werden konnte, angewandt.

Folgendes sind die mitgetheilten Resultate:

1) Bei einer quadratischen Mündung von 20 Centimeter Seite ist der Coefficient der bekannten Formel *), für die Bestimmung des Ausflußquantums bei starken Druckhöhen (charges) ungefähr 0,600; nimmt die Druckhöhe ab, so wächst dieser Coefficient ganz allmählig, bis er bei einer Druckhöhe **), welche ungefähr das vier- bis fünffache der Höhe der Mündung beträgt, einen Werth von 0,605 erlangt; von hier an mindert er sich abermals, ja sogar sehr schnell, wenn die Höhe des Wasserstandes nur noch sehr wenig über dem Gipfel der Mündung beträgt; so daß er hier bis auf ungefähr 0,593 herabkommt.

2) Bei Mündungen von 10 und von 5 Centimeter Höhe gegen 20 Centimeter Breite beobachtet man dasselbe Gesetz, nur sind die respectiven Coefficienten für die höchsten, mittleren und kleinsten Druckhöhen hier respectiv 0,611; 0,618 und 0,611 für die Mündung von 10 Centimeter Höhe und 0,618; 0,631; 0,623 für die Mündung von 5 Centimeter Höhe.

3) Für die Mündungen von 3, von 2 und 1 Centimeter Höhe gegen 20 Centimeter Breite ändert das Gesetz plötzlich seine Natur, so daß der Coefficient von den höchsten bis zu den kleinsten Druckhöhen stets zunimmt, und zwar um so rascher, je kleiner die Höhe der

*) Der durch Versuche zu findende Coefficient k in der Formel

$$Q = ka\sqrt{2gh}$$

wenn Q das ausfließende Quantum, a die Größe der Mündung, h die verticale Tiefe ihrer Mitte unter dem Wasserspiegel, g das doppelte des Fallraums in der ersten Secunde bedeutet.

**) Die Druckhöhe wird stets von der Mitte der Mündung an gerechnet.

Mündung ist; auch sind die absoluten Werthe der Coefficienten um so größer, je kleiner diese Höhe ist; so z. B. nimmt bei der Mündung von 1 Centimeter Höhe der Coefficient, der für die stärksten Druckhöhen 0,620 ist, continuirlich zu, bis er 0,698 für die kleinste Druckhöhe wird; während dieser Coefficient bei der Mündung von 2 Centimeter Höhe sich nur zwischen 0,622 und 0,668; und bei der Mündung von 3 Centimeter Höhe nur zwischen 0,623 und 0,640 ändert.

4) Verzeichnet man Curven, deren Abscissen die absoluten Druckhöhen und deren Ordinaten die ihnen respectiv zugehörigen Coefficienten sind, so erhält man vollkommen continuirliche Linien, und zwar der Art, daß die Curven, welche sich auf die Mündungen von 20, von 10 und von 5 Centimeter Höhe gegen 20 Centimeter Breite beziehen, ihre Concavität gegen die Axe der Abscisse kehren, und eine Maximum-Ordinate zeigen; dagegen bei den Curven, welche den Mündungen von 3, von 2 und von 1 Centimeter Höhe auf 20 Centimeter Breite zugehören, statt des Maximum-Punkts sich ein Beugungspunkt zeigt.

5) Wenn die Öffnung nicht, wie bisher vorausgesetzt wurde, oben (durch den Schieber) verschlossen, sondern offen ist, so nimmt der Coefficient der für diesen Fall gebräuchlichen Formel continuirlich zu von einem Wasserstande von 21 Centimeter über der Basis der Mündung, wo er 0,389 ist, bis zum Stande von 2 Centimeter, wo er 0,415 wird; welches ganz mit Bidone's Resultaten übereinstimmt.

6) Was die Vena contracta anlangt, welche durch die quadratische Mündung von 20 Centimeter Seite erhalten wurde, so fand das Maximum der Contraction in einem Abstande von ungefähr 30 Centimeter von der Ebene der Mündung, d. h. dem $1\frac{1}{2}$ fachen ihrer Länge, Statt, in Übereinstimmung mit dem schon Bekannten. Die (geometrisch gemessene) Area der Vena contracta an dieser Stelle war 225,06 Qu. Centimeter, wovon das Verhältniß zur Area der Mündung fast wie $\frac{225}{400}$ oder $\left(\frac{3}{4}\right)^2$ ist; d. h. die Seite des als quadratisch betrachteten Querschnitts der größten Zusammenziehung des Strahls ist $\frac{3}{4}$ von der Seite der Mündung. Da nun das Verhältniß $\left(\frac{3}{4}\right)^2$ oder 0,5625 viel kleiner als der Coefficient 0,605 ist, so scheint die gewöhnlich vorausgesetzte Beziehung zwischen diesem Coefficienten und dem Verhältniß des Querschnitts der Vena contracta zur Größe der Ausflußmündung nicht gültig zu sein.

*B.* Versuche von d'Aubuisson *).

Die Versuche von d'Aubuisson, welche in kleinerm Maßstabe als die vorigen, mit Reservoirs, deren eines als ein kubisches Gefäß von 0,35

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLIV. 225.

Meter Seite bezeichnet wird, angestellt wurden (bei constantem Niveau), haben folgende Resultate in Bezug auf rechteckige Mündungen, welche in einer dünnen verticalen Wand angebracht sind, geliefert.

1) Der Coefficient des Ausflußquantums ändert sich, entgegen der gewöhnlichen Annahme, wenigstens für kleinere Druckhöhen, mit der Breite *) der Mündungen ab.

So wurden bei Mündungen von 0,01 Meter Höhe gegen 0,30 Meter Breite, die in ein Blatt Weißblech gebrochen waren, folgende respective Werthe des Coefficienten erhalten: 0,70; 0,71; 0,71; 0,69 **) bei folgenden Druckhöhen: $0^m,018$; $0^m,0305$; $0^m,054$; $0^m,064$; $0^m,081$; während für quadratische Mündungen von $0^m,01$ Seite bloß 0,64 bis 0,66 und für kreisförmige von $0^m,01$ Durchmesser 0,66 bis 0,67 gefunden wurden.

2) Desgleichen, entgegen der gewöhnlichen Annahme, fand d'Aubuisson, daß, wenigstens für kleine Druckhöhen das Ausflußquantum durch eine Mündung ganz ungeändert bleibt, wenn auch zur Seite desselben eine oder zwei andere Mündungen geöffnet werden. Die Versuche darüber wurden an einer Mündung von $0^m,1000$ Breite und $0^m,0102$ Höhe angestellt, zu deren Seite (durch ein Intervall von $0^m,01$ und bei einem andern Versuche von $0^m,05$ davon getrennt) zwei andere rechteckige Mündungen von derselben Höhe ($0^m,0102$) und $0^m,08$ Breite angebracht waren, die beliebig geöffnet und verschlossen werden konnten. Die angewandten Druckhöhen betrugen 0,0201 bis 0,0601 Meter.

Folgende Tabelle dient zum Belege. Das Intervall zwischen den seitlichen und der mittlern Öffnung betrug hier 0,01 Meter.

*) Unter Breite ist die horizontale, unter Höhe die verticale Dimension der Mündung verstanden.

**) Ein Werth ist unstreitig weggelassen.

| Druckhöhe über der Mitte der Mündung. | Ausflußquantum aus der mittlern Mündung. | | | Mittleres Ausfluß-quantum. | Coefficient aus dem mittlern Quantum berechnet. |
|---|---|---|---|---|---|
| | Bei Verschließung beider Seitenmündungen. | Bei Öffnung einer Seitenmündung. | Bei Öffnung beider Seitenmündungen. | | |
| Meter | Litres | Litres | Litres | Litres | |
| 0,0201 | { 0,466 0,464 } | 0,465 | { 0,467 | 0,465 | 0,728 |
| 0,0301 | { 0,560 0,564 0,565 } | 0,563 | { 0,563 0,561 } | 0,536 | 0,720 |
| 0,0401 | { 0,650 0,643 } | 0,650 | 0,651 | 0,650 | 0,719 |
| 0,0501 | 0,722 | 0,720 | . . . . | 0,721 | 0,715 |
| 0,0601 | 0,787 | { 0,783 0,789 0,789 0,778 } | . . . . | 0,786 | 0,710 |

**Über permanente Curven, welche sich um ein in fließendes Wasser tauchendes Stäbchen an der Oberfläche des Wassers bilden, von Poncelet** *). Unstreitig hat jeder schon öfters Gelegenheit gehabt, auf der Oberfläche von fließendem Wasser eine Art Curven wahrzunehmen, die sich um Gegenstände bilden, z. B. Stengel von Wasserpflanzen, Stäbe u. s. w., die mit einem Theile ihrer Länge über das Wasser hervorragen. Diese über die Oberfläche des Wassers erhabenen Curven haben Ähnlichkeit mit Wellenerscheinungen, von denen sie sich jedoch wesentlich dadurch unterscheiden, daß sie nicht fortschreiten, und von bleibender Form sind. Sie entstehen von derselben Beschaffenheit, auch wenn man die Oberfläche des fließenden Wassers nur leise mit einem Stäbchen berührt, und sind nach dieser Art, sie hervorzubringen, näher von Poncelet studirt worden.

Maßbestimmungen darüber oder eine mathematische Erklärung derselben sind wünschenswerth, aber bis jetzt noch nicht gegeben worden, doch beabsichtigt der Verfasser, sich künftig damit zu beschäftigen.

Folgendes enthält die näheren Bestimmungen über diese Erscheinung, wie sie sich aus Poncelet's Beobachtungen ergeben.

Man berühre in A, Fig. 9 die Oberfläche eines in gerader Richtung gleichförmig fließenden Wasserstroms leise mit der Spitze eines feinen Stäbchens aus irgend einer festen Substanz; sofort werden sich auf dieser Oberfläche eine Menge vorragender Linien, oder Falten (rides), wie sie der Verfasser nennt, CAD, cad, c′a′d′ u. s. w. in Gestalt einander um-

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLVI, 5.

schließender parabolischer Curven bilden, deren innerste A zum Scheitel hat, wo die zur gemeinschaftlichen großen Axe eine Gerade A B haben, die durch den Punkt A geht, und nach der Richtung des Stroms an diesem Punkte gerichtet ist, wie durch die Pfeile der Figur angedeutet wird. Diese Curven sind durch deutliche Zwischenräume geschieden, die mit ihrer Entfernung vom Berührungspunkte A wachsen; ihre Anzahl scheint unendlich zu sein, da sie aber um so weniger über die Oberfläche des Wassers vortreten, je weiter sie von A abliegen, so hören sie in nicht großer Entfernung schon auf, merklich zu sein, ungefähr wie dies auch bei den gewöhnlichen, auf der Oberfläche von ruhigem Wasser hervorgerufenen, Wellen der Fall zu sein scheint; von denen jedoch angegebenermaßen der Unterschied Statt findet, daß die Curven in unserm Fall vollkommen unbeweglich und von bleibender Form sind, so lange der Ruhezustand des Stäbchens und der Bewegungszustand des Stromes sich nicht ändern. Hiezu kommt noch der andere Unterschied, daß die Erscheinung nicht auch noch nach Entfernung des Stäbchens fortdauert, sondern im Augenblicke, wo die Spitze die Oberfläche des Wassers verläßt, plötzlich verschwindet.

Was nun die nähere Bestimmung der Erscheinung anlangt, so erhellt aus den Beobachtungen Folgendes:

1) Die Erscheinung ist nur auf die Oberfläche der Flüssigkeit beschränkt und geht nicht, oder nicht merklich in die Tiefe.

2) Sie ist unabhängig von dem Dasein oder Nichtdasein von Gefäßwänden, welche die Flüssigkeit einschließen; und es erfolgt an diesen Wänden keine Reflexionserscheinung.

3) Die Flüssigkeitstheilchen werden nicht wahrnehmbar aus der natürlichen Richtung des Stroms abgelenkt, so daß die Form der Curven keine veränderte Strömung der Flüssigkeit bezeichnet.

4) Wird das Wasser an mehreren einander nahen Stellen berührt, so kreuzen sich die Curven, die um die Berührungspunkte entstehen, ohne sich wechselseitig zu stören, wie dasselbe auch von den Wellen gilt.

5) Die Zahl, die Deutlichkeit und Enge der Curven nimmt mit der Geschwindigkeit des Wassers zu.

6) Die Erscheinung, welche man auf der Oberfläche eines ruhenden Wassers dadurch hervorbringen kann, daß man mit der Spitze eines Stäbchens über dieselbe in gradliniger Richtung hinstreicht, scheint von gleicher Natur mit der vorbetrachteten zu sein.

Zu 1). Daß die Erscheinung merklich nur auf die Oberfläche beschränkt ist, ergiebt sich aus den beiden Umständen, a) daß sie in voller Intensität und in constanter Form schon dann entsteht, wenn die Spitze das Wasser so wenig berührt, daß es bloß capillar daran emporgezogen wird; b) daß, wenn man einen langen dünnen Stab horizontal ganz in Wasser taucht, und so das eine Ende desselben, welches vertical aufwärts gebogen ist, nur noch ganz wenig von der Oberfläche der Flüssigkeit (unterhalb derselben)

entfernt bleibt, sich nichts von der Erscheinung zeigt, die dagegen sofort mit allen gewöhnlichen Umständen eintritt, wenn die Spitze des Endes di Oberfläche erreicht und nur ganz wenig darüber hervortritt.

Zu 2). Man findet, daß, wenn der Strom durch Wände, welche der Spitze des Stabes mehr oder minder nahe liegen und der allgemeinen Richtung des Stroms parallel sind, begränzt ist, die Erscheinung der Curven auf dieselbe Weise und mit merklich identischen Umständen eintritt, als wenn diese Wände nicht vorhanden wären, oder die Flüssigkeit von unbegränzter Ausdehnung wäre. Die Gefäßwände schneiden bloß die Curven geradezu ab, wo sie dieselben treffen, ohne eine Kreuzung, Ablenkung oder Zurückwerfung derselben zu veranlassen.

Zu 3). Wirft man leichte Körperchen auf die Oberfläche des Stroms da, wo sich die Curven unter dem Einflusse der Spitze eines Stäbchens bilden, so sieht man dieselben genau der allgemeinen Richtung der Strömung folgen, ohne merklich von ihrer Bahn abzuweichen, selbst wenn sie ganz in die Nähe des Stäbchens kommen, und gewissermaßen nur die Theilchen, welche gerade vor die Dicke des Stäbchens gelangen, erfahren eine schwache Ablenkung in der Richtung ihrer Bewegung. — Hat der Körper, welcher die Curven durch sein Eintauchen hervorruft, große Dimensionen, so versteht es sich allerdings von selbst, daß die Flüssigkeitstheilchen in seiner Nähe eine starke Ablenkung erfahren, und dann kann wohl der Fall eintreten, daß die Richtung der Flüssigkeitstheilchen mit der Richtung der Curven bei ihrem Gipfel nahe zusammenfällt.

Zu 5). Die Beobachtung lehrte, daß, wenn die Geschwindigkeit des Wassers im Mittel unter 25 Centimeter in der Secunde betrug, die Erscheinung der Curven auf der Oberfläche nicht wahrgenommen werden konnte, dagegen sie um so deutlicher und minder verlaufend waren, je mehr die Geschwindigkeit wuchs. Zugleich nahm die Zahl der Curven mit Vermehrung der Stromgeschwindigkeit zu, insbesondere in der Nähe der Stelle, wo das Wasser vom Stäbchen berührt ward, so daß die zwischen den Curven enthaltenen Zwischenräume hier immer mehr abnahmen, wobei sich ihr Hervortreten bei weitem nicht in demselben Verhältniß minderte. Endlich näherten sich die Zweige der Curven um so mehr ihrer gemeinschaftlichen, der Stromesrichtung parallelen, Axe, d. h. die Area der Curven verschmälerte sich um so mehr, je mehr die Geschwindigkeit wuchs.

Zu 6). Wenn man mit der feinen Spitze eines Stäbchens über die freie Oberfläche einer ruhenden Flüssigkeit in geradliniger Richtung mit constanter Geschwindigkeit hinfährt, so entsteht eine, den vorbetrachteten ganz ähnliche, Erscheinung, nur mit dem Unterschiede, daß jedesmal bloß eine, ihren Scheitel im Berührungspunkte der Spitze mit dem Wasser habende, Curve sichtbar ist, die, ohne ihre Gestalt zu ändern, der Bewegung des Stäbchens folgt, so daß es fast scheint, als würde die Curve durch dies Stäbchen bloß fortgeschoben.

## Geschwindigkeit des Wassers in Flüssen.

Über ein Mittel, die Geschwindigkeit des Wassers an der freien Oberfläche von Strömungen zu messen, von Poncelet *). Es ist im vorigen Artikel erörtert worden, daß, wenn man die Oberfläche eines fließenden Wassers mit einer feinen Spitze in A Fig. 8 berührt, Curven von der in der Figur beigezeichneten Gestalt entstehen, die sich um so mehr verengern, je größer die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche ist. Wäre nun die Abhängigkeit der Dimensionen der Curven oder nur der innersten Curve, die ihren Scheitel in A hat, von der Geschwindigkeit bekannt, so ließe sich aus den Messungen einiger Coordinaten dieser Curven die Geschwindigkeit berechnen **). Bis jetzt hat man allerdings diese Kenntniß noch nicht; indeß ist wahrscheinlich, daß eine nicht zu schwierige mathematische Analyse zur Bestimmung dieser Abhängigkeit wird führen können, oder daß in Ermangelung derselben vorläufige Versuche mit künstlichen Strömungen von bekannter Geschwindigkeit hierüber würden Bestimmungen an die Hand geben können. Jedenfalls verdient daher dies Mittel Aufmerksamkeit und weitere Verfolgung.

Über Geschwindigkeit des Wassers in Flüssen, von Raucourt. Raucourt des Charleville hat über die Geschwindigkeit der Newa im Winter 1824 und Sommer 1826 Beobachtungen angestellt, die wie es scheint noch nicht vollständig gedruckt sind. Ein, übrigens ziemlich ungenügender und undeutlicher, Auszug daraus ist im Bull. univ. 1830. mars. p. 176 enthalten; eine etwas bessere, jedoch nach Vergleichung mit dem andern Auszug ebenfalls mehreres Wesentliche übergehende, Übersicht der Resultate gewährt der, von Prony, Girard und Navier der Akademie der Wissenschaften über diese Untersuchungen abgestattete Bericht in den Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 87. Bei dem Nachfolgenden sind beide Auszüge benutzt worden.

Verfahren der Beobachtung. Das Instrument, dessen sich der Verfasser zu seinen Beobachtungen bediente, von ihm Hydrotachymeter genannt, war dem Loch ähnlich, welches zur Messung der Geschwindigkeit der Schiffe gebraucht wird. Dies Instrument ließ sich unter Wasser bis zu einer beliebigen Tiefe versenken. Ein, vom Strom mit fortgenommener, Schwimmer (plongeur) von gleicher Dichtigkeit mit dem Wasser wickelt eine Schnur (ficelle), nicht wie beim Loch von einer sich drehenden Spule, sondern von einem befestigten Kegel ab, dessen Axe sich in der Richtung des Stromes befindet. Dieser, in einem Gehäuse (cage) enthaltene, Kegel hängt an zwei Stricken, mittelst deren er, unter gehöriger Belastung, bis zu beliebiger Tiefe in das Wasser gelassen werden kann,

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 19.

**) Auch die Messung der Abstände zwischen einigen der Curven, welche zunächst um den Berührungspunkt A liegen, könnte hiezu führen.

und zwar so, daß seine Axe stets horizontal in der Richtung des Stroms bleibt, und daß seine Spitze stromab gekehrt ist. Die beiden Stricke können jeder besonders gespannt werden; und je nachdem dies mit dem einen oder andern geschieht, ist die Abwickelung der Schnur frei oder verhindert. Die Länge des Schnurtheils, die sich in einer gegebenen Zeit abgewickelt hat, dient als Maß der Schnelligkeit des Stroms.

Bei den Beobachtungen im Sommer wurden außer diesem Instrumente noch andere angewandt, welche sich auf verschiedene Principien gründeten, und bei welchen die Geschwindigkeiten mittelst der Beugung oder Contraction einer Feder (ressort) oder der Neigung eines Pendels gemessen wurden.

Die Winterbeobachtungen wurden angestellt, während der Strom mit einer dicken Lage Eis bedeckt war, unter welcher der Fluß wie in einer ungeheuren Wasserleitung fließt. Der Ort der Beobachtungen war in dem Theil des Flusses in Petersburg bei dem Palaste von Tauris, wo die Breite des Querschnitts mehr als 900 engl. Fuß und die Tiefe über 60 F. beträgt. Die Gestalt dieses Querschnitts ist ziemlich regelmäßig; indem die größte Tiefe wenig von der Mitte der Breite entfernt ist. Doch erhebt sich die Wand etwas steiler an einem als an dem andern Ufer. — Die Sommerbeobachtungen scheinen an derselben Stelle angestellt, wiewohl dies nicht besonders angegeben ist. — Die Geschwindigkeiten wurden im Winter (durch in das Eis gehauene Löcher) in 7 Verticallinien beobachtet, welche in ungefähr gleichen Intervallen in der Breite des Querschnitts vertheilt waren.

Resultate im Winter, bei mit Eis bedecktem Flusse. Das Maximum der Geschwindigkeit fand sich in derjenigen Verticale, welche am Orte der größten Tiefe, die 63 Fuß betrug, befindlich war. Dies Maximum war ungefähr 2 Fuß 7 Zoll in der Secunde und fand ein wenig unterhalb der Mitte dieser Verticale Statt. Bei dem obern Ende derselben war die Geschwindigkeit 1,11 Zoll und bei dem untern Ende 1,65 Zoll. Die Beobachtungen in den übrigen Verticalen boten analoge Resultate dar, indem sich die größte Geschwindigkeit immer in der Mitte oder ein wenig unter der Mitte der Höhe fand. Diese größte Geschwindigkeit, so wie die obern oder untern Geschwindigkeiten, mindern sich aber von einer Verticale zur andern, je mehr man sich dem einen oder andern Ufer des Flusses nähert. An diesen Ufern selbst, d. h. an den beiden Enden des Querschnitts, ist die Geschwindigkeit des Wassers merklich null, indem sich hier das Wasser mit vielem schwammigen Eise gemengt findet. Das allgemeine Mittel aller Geschwindigkeiten des Querschnitts betrug 2 Fuß. Die Wassermasse, die durch dieselbe in 1 Secunde hindurchging, betrug 80000 bis 85000 Cubikfuß.

Raucourt hat gesucht, das Gesetz der Geschwindigkeiten in jeder Verticale durch die Ordinaten eines Ellipsenstücks von geringer Amplitude auszudrücken; was zur leichten empirischen Übersicht zweckmäßig sein kann,

wiewohl nach der Bemerkung Navier's sich die Resultate der Beobachtungen auch wohl durch andere Curven würden repräsentiren lassen *).

Übrigens ist sehr erklärlich, warum bei mit Eis bedecktem Flusse sowohl an der Oberfläche, als auf dem Boden die Geschwindigkeit geringer als um die Mitte des Flusses ist, an beiden Orten nämlich erleidet das Wasser eine Verzögerung durch die Reibung an der festen Wand. Diese war, dem angeführten Ergebnisse zufolge, größer an der Eisdecke, als auf dem Boden.

Resultate im Sommer, bei von Eis freier Oberfläche des Flusses. Da in dem vorliegenden Falle keine Reibung des an der Oberfläche fließenden Wassers an einer festen Wand Statt findet, so läßt sich leicht erwarten, daß hierbei bei geringern Tiefen des Wassers die Geschwindigkeit an der Oberfläche am größten sein werde, und bis zum Boden, wo der Einfluß der Reibung am stärksten ist, immer mehr abnehmen. In der That fand der Verfasser, daß da, wo die Tiefe 30 Fuß nicht übersteigt, das Maximum der Geschwindigkeit an der Oberfläche liegt, und daß die Geschwindigkeiten von da bis zum Boden immer mehr abnehmen; so daß man anzunehmen hat, der Einfluß der Reibung am Boden erstrecke sich bis 30 Fuß weit in die Höhe. Ist die Tiefe größer als 30 Fuß, welches die Gränze zu sein scheint, bis wohin sich dieser Einfluß erstreckt, so sollte man erwarten, daß von 30 Fuß Höhe an die Geschwindigkeit bis zur Oberfläche constant wäre; allein die Reibung des an der Oberfläche fließenden Wassers an der Luftschicht, die auf ihm liegt, macht, daß auch bei ruhiger Luft die Oberfläche eine etwas, wiewohl nur wenig, kleinere Geschwindigkeit zeigt, als das Wasser in 30 Fuß Höhe vom Boden; diese Geschwindigkeit nach der Oberfläche zu mindert sich aber noch viel mehr, so daß sie an der Oberfläche selbst fast bis zu der an dem Boden herabkommen kann, wenn ein Wind der Richtung des Stroms entgegenweht; dagegen sie größer wird, als die Geschwindigkeit in 30 Fuß Höhe vom Boden an, wenn der Wind in der Richtung des Stromes bläst.

Der Einfluß des Windes wird minder deutlich bei Tiefen, welche unterhalb der Gränze liegen, bis zu welcher der Einfluß des Bodens reicht. Betrug die Tiefe unter 20 Fuß, so ließ sich dieselbe nur noch schwer wahrnehmen, wenn nicht der Wind sehr stark war.

Hydraulischer Widder. Über einen neuen Bau und die Literatur desselben, von Boquillon, vergl. Dinglers polyt. J. XXXIII. 417.

*) Daß in der That eine Ellipse das Gesetz dieser Erscheinungen nicht genau ausdrücken kann, ergiebt sich aus der mathematischen Beobachtung der Bewegung des durch Canäle oder Röhren fließenden Wassers. Vergl. Navier in Tome VI der Mém. de l'Acad. des scienc. 1822.

## X. Gleichgewichtserscheinungen elastischer Flüssigkeiten, Barometer, Luftpumpe.

Über den Gleichgewichtszustand einer elastischen Flüssigkeit, deren Theilchen sich wechselseitig anziehen, von Dallari *).

Gesetzt, in der Welt sei nichts anders gegeben, als eine Masse elastischer Flüssigkeit, deren Theilchen sich nach dem Gravitationsgesetze (directem Verhältnisse der Masse, umgekehrten des Quadrats der Entfernung) anziehen; gesetzt ferner, Druck und correspondirende Zusammenziehung dieser Flüssigkeit seien einander proportional; gesetzt endlich, die Schichten von gleichförmiger Dichtigkeit seien sphärisch und concentrisch; so fragt sich, nach welcher Function des Radius muß sich die Dichtigkeit dieser Schichten ändern, damit die ganze flüssige Masse im Gleichgewicht sei?

Durch mathematische Betrachtungen ergiebt sich folgendes Gesetz:

$$\delta = A\, e^{\frac{k}{hr}}$$

hierin ist $\delta$ die Dichtigkeit einer Schicht, welche dem Radius r entspricht; A der Werth von $\delta$, welcher für einen unendlichen Radius Statt findet; e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen; k und h constante Größen, welche von der Natur der Flüssigkeit abhängen.

Folgerungen aus dieser Formel würden folgende sein:

1) Im Mittelpunkt der concentrischen Schichten ist die Dichtigkeit unendlich.

2) Für einen unendlichen Radius ist sie einer constanten Größe gleich.

3) Je größer der Radius r ist, um so kleiner werden für gleiche Differenzen desselben die Dichtigkeitsdifferenzen.

Über die Daltonsche Theorie **) von Benzenberg. Die von Dalton aufgestellte Hypothese, daß die verschiedenen Gasarten, aus welchen die atmosphärische Luft besteht, gar nicht gegenseitig auf einander drücken, sondern eben so viele, von einander gleichsam unabhängige, Atmosphären bilden, hat bisher bei wenigen Physikern Beifall gefunden, unter welchen sich jedoch Benzenberg durch den unermüdeten Eifer, mit welchem er jene Hypothese seit 20 Jahren in Schutz nimmt, auszeichnet. Namentlich hat er in der d'Aubuissonschen trigonometrisch-barometrischen Messung des Monte Gregorio einen wichtigen Grund für die Daltonsche Hypothese gefunden. Es ist klar, daß die barometrischen Höhenmessungen, wenn die Daltonsche Hypothese wahr ist, anders berechnet werden müssen, als nach der gewöhnlichen Theorie. Bei dem 5260 Fuß hohen Monte Gregorio fand Benzenberg das Resultat der ersten Rechnung um 16 Fuß

*) Ann. de Gergonne, XX. 31.

**) Vergl. darüber Näheres in Gehlers Wörterb. Art. Atmosphäre, S. 488.

kleiner, als nach der andern und sehr nahe eben so viel übertraf letztere das Resultat der trigonometrischen Messung, welche Differenz mithin nach Benzenbergs Rechnung durch die Annahme der Daltonschen Hypothese fast vollkommen gehoben werden würde. Benzenberg hat diese Rechnung zuerst in Gilberts Ann. 1812 bekannt gemacht und ist auch nachher an andern Orten zu wiederholten Malen damit aufgetreten. Auch über andere Abschnitte der Physik, welche mit der Daltonschen Vorstellungsart in Berührung kommen, wie die Akustik und Eudiometrie, hat er Erörterungen gegeben, nicht sowohl um Gründe für jene Hypothese darin zu suchen, als vielmehr, um diejenigen Gründe, welche man daraus gegen dieselbe hernehmen kann und hergenommen hat, zu bekämpfen. Dies Alles findet sich von Neuem vereinigt aufgestellt in einer Schrift mit folgendem Titel: über die Daltonsche Theorie, von J. F. Benzenberg. 1830, bei Schaub. (192 Seiten in 8. nebst drei Steindrucktafeln).

Der Recensent der Benzenbergschen Schrift in den Gött. gel. Anz. 1830. St. 196. S. 1945 hat indeß bei Prüfung der Benzenbergschen Berechnung über die barometrische Höhenmessung gefunden, daß diese Berechnung unrichtig ist und daß eine richtig geführte Rechnung ein ganz entgegengesetztes Resultat giebt.

Der Irrthum Benzenbergs beruht auf folgendem Umstand: Er hat die Höhen, auf welche unter Voraussetzung der Richtigkeit der Daltonschen Hypothese jede einzelne Atmosphäre das Barometer heben würde, den in 100 Theilen trockener Luft dem Gewichte nach enthaltenen Theilen der einzelnen Gasarten proportional gesetzt, da sie doch nach dieser Hypothese den, dem Maße nach darin enthaltenen, Quantitäten proportional gesetzt werden müssen.

Begreiflich muß man mit den so verbesserten Werthen andere Resultate als Benzenberg erhalten. Der Recensent hat diese Rechnung für einige Höhen geführt. Folgende Tafel enthält die (für trockene Luft erhaltenen) Resultate:

| Höhe in Fußen. | Barometerhöhe in Zollen. | | |
|---|---|---|---|
| | nach der gewöhnlichen Theorie. | in Daltons Hypothese: nach der Rechnung des Recensenten. | in Daltons Hypothese: nach Benzenbergs Rechnung. |
| 5000 | 22,6332 | 22,6350 | 22,6179 |
| 10000 | 18,4532 | 18,4589 | 18,4314 |
| 15000 | 15,0452 | 15,0555 | 15,0221 |
| 20000 | 12,2666 | 12,2814 | 12,2458 |

Hiernach entspricht einer bestimmten Höhe in Daltons Hypothese nicht, wie Benzenberg meint, ein kleinerer, sondern ein größerer Barometerstand, als in der gewöhnlichen Theorie, und eben so wird folglich aus

einem bestimmten Barometerstande in jener Hypothese nicht eine kleinere, sondern eine größere Höhe berechnet werden. Für den Monte Gregorio ist dieser Unterschied nicht — 16 Fuß, sondern + 2 Fuß. Bei kleineren Höhen wird der Unterschied sehr nahe dem Quadrat der Höhe proportional. Benzenbergs Unterschiede hingegen sind für kleine Höhen dieser nahe proportional, was allein schon hinreicht, die Unrichtigkeit derselben zu erkennen.

Der Recensent fügt hiezu noch folgende Bemerkungen:

1) Das Resultat, daß der Unterschied der Barometerhöhe in Daltons Hypothese von der auf gewöhnliche Weise berechneten positiv und für mäßige Höhen deren Quadraten nahe proportional wird, ist allgemein und von den angenommenen Werthen der spec. Gewichte der einzelnen Gasarten, aus denen die gemischte Luft besteht, unabhängig. Es würde also vergeblich sein, von andern Werthen dieser spec. Gewichte ein günstigeres Resultat zu erwarten.

2) Schon im Jahre 1807 hat Tralles (Gilb. Ann. XXVII.) eine richtige Darstellung der Barometerhöhen in Daltons Hypothese geliefert, deren Resultat mit dem des Recensenten im Wesentlichen übereinstimmt.

3) In so fern es vergeblich ist, den Unterschied der barometrischen und der trigonometrischen Messung des Monte Gregorio durch Daltons Hypothese heben zu wollen (in welcher er sogar noch um 2 Fuß vergrößert wird), so steht als entschiedene Thatsache fest, daß eine von beiden, oder beide, nicht diejenige Genauigkeit haben, welche ihnen Benzenberg glaubte beilegen zu können. Nach des Recensenten Meinung mögen folgende drei hier in Frage kommende Fehlerquellen ihren Antheil daran haben: 1) das Schwanken der gemessenen Barometerhöhen selbst; 2) die in der Berechnung gebrauchten Constanten, welche Benzenberg auf Biot's Abwägung der atmosphärischen Luft gegründet hatte, und die wohl viel sicherer aus einer zweckmäßigen Benutzung zahlreicher zugleich barometrisch und trigonometrisch gemessener Berghöhen bestimmt werden kann; 3) aber mag auch die trigonometrische Messung des Monte Gregorio selbst ihren Theil zu dem Unterschiede beigetragen haben, in welchem Bezuge der Recensent mehrere Umstände nahmhaft macht, welche die absolute Genauigkeit dieser Messung zu bezweifeln erlauben.

Über das Mariotte'sche Gesetz *). Eine von der franz. Akademie ernannte Commission, bestehend aus den Herren Prony, Arago, Ampère, Girard und Dulong, hat mittelst eines sehr im Großen ausgeführten Apparats, dessen Beschreibung hier zu viel Umständlichkeit mit sich führen würde, die Gültigkeit des Mariotteschen Gesetzes für atmosphärische Luft bis zu Druckkräften von 27 Atmosphären nachgewiesen, indem in keinem Falle der Unterschied zwischen dem beobachteten und berechneten Werthe bis zu $\frac{1}{100}$ stieg, meist nur $\frac{1}{200}$ betrug und in einigen

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLIII. 74. oder Schweigg. J. LIX. 167.

Fällen fast ganz verschwand. Auch nahmen diese Differenzen mit dem Druck nicht zu.

Anschwellen thierischer Blase durch Absorption von Gasen *). Graham stellte zuerst folgenden Versuch an, der nachher von Schweigger, Baumgartner und Faust wiederholt und noch mehrfach abgeändert worden ist.

Eine fehlerfreie, unverletzte, mit einem Hahne versehene Thierblase wurde etwa gegen $\frac{2}{3}$ mit Steinkohlengas angefüllt, der Hahn geschlossen und die Blase, in diesem welken Zustand, in eine mit Kohlensäure-Gase gefüllte, über Wasser aufgestellte, Glasglocke emporsteigen gelassen. Die Blase befand sich mithin in einer feuchten Atmosphäre von Kohlensäure-Gas. Nach Verlauf von 12 Stunden wurde die Blase, anstatt so welk zu sein wie anfangs, vielmehr auf das Äußerste ausgedehnt gefunden, so daß sie auf dem Punkte stand zu bersten, während der größte Theil des Kohlensäure-Gases aus dem Recipienten verschwunden war. Wirklich zerriß die Blase am Halse, indem sie unter der Glocke hervorgezogen wurde. Es zeigte sich, daß sie 35 pr. C. Kohlensäure (nach Volumtheilen) enthielt. Die Substanz der Blase roch ganz frisch und schien keine Veränderung erlitten zu haben. Das Kohlensäure-Gas, welches außerhalb der Blase in der Glocke zurückgeblieben, zeigte einen geringen Gehalt von Kohlengas.

In einem zweiten Versuche, wo die Blase etwas weniger Kohlengas enthielt, und auf ähnliche Weise in eine Atmosphäre von Kohlensäure-Gas gebracht wurde, war sie nach 15 Stunden völlig aufgeblasen, und es ergab sich, daß sie 40 pr. C. Kohlensäure-Gas aufgenommen hatte. Nur eine ganz geringe Menge Kohlengas war dabei, wie zuvor, aus der Blase entwichen.

Übrigens beschränkt sich diese Eigenschaft nicht bloß auf das Kohlengas. Eine dicht verschlossene, zur Hälfte mit gewöhnlicher Luft angefüllte, Blase ward in gleicher Weise, nach Verlauf von 24 Stunden, völlig aufgeblasen gefunden; und nach Faust geschahe, als statt Kohlengas oder atmosphärischer Luft Wasserstoffgas die Blase füllte, eine so schnelle und bedeutende Anschwellung, daß die Blase schon nach 2 Stunden platzte.

Wurde die mit Kohlengas gefüllte Blase in atmosphärische Luft gebracht, so erfolgte nicht die geringste Anschwellung.

Die Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinungen scheint sich auf Folgendes zurückführen zu lassen.

Gesetzt eine Flüssigkeit (das in den porösen Blasenwänden enthaltene Wasser) stände, während sie einerseits ein nicht absorbirbartes Gas a (Koh-

*) Graham in Quaterly Journ. of Sc. New Series. No. XI. oder Schweigg. J. LVII. 227; oder Pogg. Ann. 1829. Nr. 10. S. 347. — Schweigger in Schweigg. J. LVII. 229. — Baumgartner in Baumg. Zeitschr. VIII. 9. — Faust in Americ. J. of the Med. Sc. nov. 1830. oder Fror. Not. 1831. Nr. 8. des XXX. Bandes S. 117.

lengas) absperrte, andererseits mit einer Atmosphäre eines absorbirbaren Gases b (kohlensaures Gas) in Berührung, so daß die Communication beider Gasarten nur durch die Flüssigkeit vermittelt würde.

Das Gas b wird absorbirt werden, und solchergestalt mit dem Raume, der das fremde Gas a enthält, und der für dieses nach Dalton's Gesetz *) ein leerer ist, in Berührung kommen; mithin wird von dem Gase b, das die Flüssigkeit aufgenommen hat, ein gewisser Antheil in das Gas a sich hineinverbreiten; gerade wie dies der Fall sein würde, wenn man die mit dem Gase geschwängerte Flüssigkeit in den leeren Raum brächte. Der Verlust an absorbirtem Gase, den die Flüssigkeit hiedurch erleidet, wird aber sofort von Außen wieder ersetzt, so daß solchergestalt dem innern Gase a immer neues Gas b zugeführt werden muß, so lange, bis Gleichgewicht zwischen dem absorbirten und dem auswendigen Gase b eingetreten ist. Die Flüssigkeit wirkt hiebei gewissermaßen als Ventil, indem sie dem äußern absorbirten Gase zwar den Zutritt zu dem innern, aber nicht umgekehrt dem innern, der Absorption widerstehenden, Gase den Zutritt zu dem äußern Gase verstattet.

Umstände, welche diese Erklärung unterstützen, sind, daß nach Baumgartner's Versuchen die Erscheinung auch erfolgt, wenn dem Wasser, welches zur Befeuchtung der Blase dient, eine andere Flüssigkeit substituirt wird, die das äußere Gas zu absorbiren vermag, so, wenn man die Blase, mit Weingeist befeuchtet, in kohlensaures Gas bringt **); nicht aber, wenn man sie mit einer Flüssigkeit, welche keine Absorption äußert, einreibt, wie mit Baumöl oder Anisöl; ferner, daß die Erscheinung auch erfolgt, wenn man dem kohlensauren Gase ein anderes Gas substituirt, was von der, die Blase befeuchtenden, Flüssigkeit absorbirt werden kann, wie Schwefelwasserstoffgas ***) bei Anwendung von Wasser zur Befeuchtung; ferner, daß eine ganz ausgetrocknete Blase in trocknem kohlensauren Gase gar nicht anschwillt ****); endlich, daß, wenn man eine Blase, die von eingesaugtem kohlensauren Gase ganz erfüllt und dem Platzen nahe ist, in atmosphärische Luft bringt und ihre Feuchtigkeit durch öfteres Betropfen

*) Gehler's Wört. I. 52.

**) Doch bemerkt Baumgartner, die Wirkung habe ihm nicht rascher vor sich zu gehen geschienen, als mit Wasser, wiewohl der Weingeist nach Saussure ein größeres Absorptionsvermögen für kohlensaures Gas zeigt, als dieses, woran vielleicht die geringere Capillarkraft der Blase gegen den Weingeist Schuld sein mag.

***) Das Anschwellen der Blase schien hier sogar noch schneller bemerkbar zu werden, als in kohlensaurem Gas.

****) Trockne Blasen sind allerdings für Gasarten permeabel (daher man eine Gasart nicht längere Zeit in einer Blase in der Luft aufbewahrt halten kann, ohne sie nach einiger Zeit mit Luft gemengt zu finden); aber weil hier sowohl das innere als das äußere Gas den Weg durch die Blasenwand findet, so erfolgt kein Anschwellen der Blase.

mit Wasser unterhält, sie in kurzem wieder zusammensinkt und das Volumen annimmt, welches sie vor dem ersten Versuch hatte *).

Noch mögen einige andere Umstände folgen, die Baumgartner durch seine abgeänderten Versuche über diesen Gegenstand festgestellt hat. Das innere Gas war hier stets Luft, das äußere Kohlensäure.

Es ist nicht nöthig, eine ganze Blase anzuwenden, sondern man kann sich vom Statthaben der Erscheinung auch überzeugen, wenn man ein gläsernes Gefäß an der Mündung mit einer (feuchten) Blase luftdicht überbindet und es in einen Recipienten mit kohlensaurem Gas stellt. Sehr bald, oft schon nach $\frac{1}{4}$ Stunde, erkennt man aus der converen Wölbung der Blase, daß eine Absorption Statt gefunden.

Wiewohl eine ganz ausgetrocknete Blase in trocknem kohlensauren Gase gar nicht anschwillt, so wirkt doch andererseits auch eine tropfnasse Blase viel langsamer, als eine bloß oberflächlich befeuchtete.

Die Erscheinung erfolgt in ganz gleichem Grade, mag man die Blase in ihrer natürlichen Gestalt oder, das Innere nach Außen gekehrt, brauchen.

Die Schwimmblase der Fische zeigt sich bei den in Rede stehenden Versuchen noch empfindlicher als eine Schweinsblase, sie mag die ursprüngliche Luftmasse ganz in sich enthalten oder nur zum Theil, sich im natürlichen Zustande befinden oder geschält sein. An einem zu einem Beutel zusammengebundenen feuchten Häutchen aus einem Hühnerei dagegen ließ sich selbst nach 24 Stunden keine Spur eines Anschwellens bemerken. Auch bei Anwendung feuchten weiß gegerbten Leders zeigte sich keine Anschwellung, weil, wie besonders nachgewiesen ward, durch dieses die Luft sowohl als die Kohlensäure einen Weg findet.

Die Spannung des Gases in der Blase nimmt während der Absorption so wenig zu, daß man eine solche Zunahme nur durch das Wollastonsche Differenzialbarometer deutlich bemerklich machen kann, unstreitig weil die Wände der Blase dem Drucke nachgeben.

Eine Blase, die schon so viel kohlensaures Gas aufgenommen hat, als zur Herstellung des Gleichgewichts mit dem Gas des Recipienten nöthig ist, ist im Stande, noch Schwefelwasserstoffgas aufzunehmen, falls sie überhaupt hiezu die nöthige Festigkeit hat **).

*) Was mir mit der angegebenen Erklärung minder gut zu stimmen scheint, als die obigen Erfahrungen, ist, daß nach Faust's Versuchen eine, Stickgas enthaltende, feuchte Blase in Wasserstoffgas gebracht, anschwillt, oder eine, mit Wasserstoff gefüllte, Blase in Stickgas gebracht, sich beträchtlich entleert, da doch sowohl Wasserstoffgas als Stickgas sehr wenig und beide ziemlich gleich vom Wasser absorbirbar sind (das Wasserstoffgas jedoch ein wenig mehr als das Stickgas).

**) Baumgartner führt in diesem Bezuge folgende Erfahrung an: 4 Fischblasen, wovon eine vor dem Versuche halb ausgeleert und abgeschält, die drei andern aber unversehrt in eine Kohlensäureatmosphäre gebracht wurden, nahmen so viel von diesem Gase auf, daß sie strotzend voll waren. Als dieses geschehen war, wurde zu dem kohlensauren Gase im Recipienten Schwefelwasserstoffgas

Eine Blase kann selbst dadurch zum Aufschwellen gebracht werden, daß man sie in eine mit kohlensaurem Gase geschwängerte Flüssigkeit taucht, so daß kein freies kohlensaures Gas dabei ins Spiel kommt *).

Schließlich führt Baumgartner noch einige Versuche an, bei welchen er numerische Data zur Bestätigung der obigen Theorie zu erlangen suchte. Es sind folgende:

Ein kleines gläsernes cylindrisches Gefäß wurde mit einem Gemenge von atmosphärischer Luft und kohlensaurem Gas angefüllt, ein Stück von einer gut erhaltenen, geschmeidigen Schweinsblase zu einem schlaffen Beutel luftdicht zusammengebunden, mit Wasser angefeuchtet, und in jenem Gefäße aufgehängt, das Gefäß selbst aber mit Quecksilber gesperrt, und in dieser Lage 48 Stunden gelassen. Während dieser Zeit war die Blase bedeutend angeschwollen. Nach Verlauf derselben wurde sowohl der Inhalt der Blase als jener des Gefäßes, nachdem die Blase herausgenommen war, genau gemessen, auf geeignete Weise chemisch untersucht, und folgende Resultate bei 16° C. nach der Reduction auf einen Luftdruck von 28 Wiener Zoll gefunden:

Es enthielt:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| das Gefäß | 10,6 | Cub. Centim. | atm. Luft, | 28,98 | Cub. Centim. | kohlens. Gas, |
| die Blase | 6,0 | " " | " " | 20,25 | " " | " " |

Zum Bestehen des Gleichgewichtes wird erfordert, daß das im Gefäße und das in der Blase enthaltene kohlensaure Gas dieselbe Expansivkraft habe. Nimmt man die Spannkraft der Luft bei der Temperatur 16° C. und einem Luftdruck von 28 Wiener Zoll als Einheit an, so ist die des kohlensauren Gases im Gefäße = 0,7322, die desselben Gases in der Blase = 0,7710, mithin nahe der ersteren gleich.

Bei einem zweiten Versuche wurde auf gleiche Weise verfahren, nur blieb die Blase drei Tage lang in der Gasatmosphäre. Das Resultat dieses Versuches war folgendes:

Es enthielt:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| das Gefäß | 10,88 | Cub. Centim. | atmosph. Luft, | 68,12 | Kohlensäure, |
| die Blase | 4,95 | " | " " | 28,09 | " |

Wird wieder obige Einheit der Expansivkraft angenommen, so ist die

gelassen. Die Blasen schwollen zusehends an, hatten nach 6 Stunden mehr als das Doppelte ihres natürlichen Volumens angenommen und am folgenden Tage waren sie alle zerplatzt.

*) In diesem Bezuge theilt Baumgartner folgenden Versuch mit: Es wurde eine Flasche mit engem Halse mit Biliner Sauerbrunnen gefüllt und eine, nur wenig atmosphärische Luft enthaltende, gut zugebundene, Blase in die Flasche gebracht, und durch eine besondere Beschwerung ganz unter Wasser erhalten. Nach 4 Tagen zeigte sich die Blase zwar nicht strotzend, aber doch so voll, daß sie sich durch den ziemlich engen Hals der Flasche nicht mehr herausbringen ließ, wiewohl weder eine so große Änderung des Luftdrucks noch der Temperatur eingetreten war, um das Anschwellen hievon ableiten zu können.

Expansivkraft des kohlensauren Gases im Gefäße = 0,8623, in der Blase = 0,8512.

Was an der Gleichheit der beiden Verhältnisse fehlt, rührt ohne Zweifel von unvermeidlichen Beobachtungsfehlern her, indem beim ersten Versuche die Expansivkraft des Gases in der Blase größer erscheint als die im Gefäße, beim zweiten hingegen das Umgekehrte Statt findet.

## B a r o m e t e r.

Differenzialbarometer von Wollaston *). Das Instrument, welches hier beschrieben werden soll, hatte ursprünglich die Bestimmung, die Kraft anzugeben, mit welcher die Luft in Kaminen verschiedener Art aufsteigt; weil es aber tauglich ist, überhaupt sehr geringe Unterschiede im barometrischen Druck erkennbar und mit beträchtlicher Genauigkeit meßbar zu machen, so dürfte es auch viele andere nützliche Anwendungen erfahren können.

Das Instrument besteht aus einer Glasröhre von wenigstens $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser im Lichten, die in der Mitte gebogen ist, so daß sie die Form eines umgekehrten Hebers mit parallelen Schenkeln besitzt. (Fig. 12.) Die Enden derselben sind in den Boden zweier durch eine Scheidewand getrennter Behälter, jeder von ungefähr 2 Zoll im Durchmesser, eingekittet. Der eine dieser Behälter ist überall geschlossen, bis auf eine kleine offene Röhre, die oben in eine Seitenwand horizontal eingesetzt ist; der andere aber bleibt offen.

In dies so construirte Gefäß wird erstlich etwas Wasser gegossen, so daß es in dem untern Theile der Glasröhre eine Höhe von 2 bis 3 Zoll einnimmt; dann gießt man in jeden Behälter ein gleiches Maß Öl, so daß dieses den obern Theil beider Schenkel der Röhre füllt, und noch in jedem Behälter eine Höhe von ungefähr $\frac{1}{2}$ Zoll einnimmt.

Wenn das Wasser in beiden Schenkeln im Niveau steht, oder wenn man es durch Abgleichung des Drucks der darauf ruhenden Ölsäulen ins Niveau gebracht hat, so ist das Instrument zum Gebrauche fertig.

Wenn man nun die horizontale Röhre des geschlossenen Behälters in das Schlüsselloch einer Thür oder in irgend eine Öffnung steckt, durch welche die Luft in Folge des größern Drucks von außen einzudringen vermag, so wird der Druck auf die Oberfläche des Öls in diesem Behälter das Wasser in dem zugehörigen Schenkel hinabdrücken, und in dem andern heben, bis dadurch dem Überschuß des Drucks der äußeren Luft über die im Zimmer das Gleichgewicht gehalten wird.

Es ist indeß nicht das ganze Gewicht der gehobenen Wassersäule, welches hier als Gegengewicht wirkt; vielmehr wird dieses durch eine gleiche Verlängerung der Ölsäule auf Seite des hinabgedrückten Niveaus theilweise

*) Philos. transact. f. 1829. p. 133, oder Edinb. phil. J. 1829. april., oder Pogg. XVI. S. 618, oder Baumgartner's Zeitschr. VI. 464.

aufgehoben, so daß der ausgeübte Druck nur dem gleich ist, der aus dem Unterschiede der gehobenen Wassersäule mit einer gleich langen Ölsäule entsteht; im Fall man Olivenöl anwendet, beträgt er ungefähr $\frac{1}{11}$ der scheinbaren Erhebung, und mithin werden alsdann die Variationen des Instruments 11 Mal größer sein, als bei alleiniger Anwendung von Wasser.

Sollte zu irgend einem Zwecke eine größere Empfindlichkeit des Instruments erfoderlich sein, so kann man sie ihm dadurch geben, daß man dem Wasser eine beliebige Menge Alkohol zusetzt, bis der Überschuß seines Gewichts über das des Öls bis auf $\frac{1}{20}$ oder $\frac{1}{30}$ oder auf einen noch kleineren Bruch zurückgeführt ist. Bringt man den Alkohol endlich auf die Stärke des Probeweingeistes (der seinen Namen ursprünglich von dieser Probe erhalten zu haben scheint), so bleibt er in keiner Lage in Ruhe, und, wenn man ihn noch weiter verdünnt, steigt er in die Höhe und läßt das Öl in die Biegung hinabsinken.

Wenn man die Form des Instruments ein wenig abändert, nämlich die Behälter beide verschließt, und in den obern Theil eines jeden eine sich seitwärts trompetenartig erweiternde Röhre einsetzt, kann man dasselbe auch als Anemometer gebrauchen.

## Luftpumpe.

Verschiedene Luftpumpen. Im Laboratorium Heft 23. Taf. 104 findet sich eine Abbildung und Beschreibung folgender Luftpumpen: Gewöhnliche Luftpumpe, Cuthbertson's Luftpumpe, Dunn's verbesserte Luftpumpe, Hare's Luftpumpe mit gläsernen Stiefeln, Hahnluftpumpe, Ritchie's Luftpumpe ohne künstliche Ventile. — Eine Luftpumpe mit zwei doppelt wirkenden Stiefeln, die Partington in seinem im Jahre 1828 herausgegebenen Manual of natural and experimental Philosophy I. 109 beschrieben hat, und die sich besonders zu schnellen Luftverdünnungen empfiehlt, findet man neuerdings in Baumg. Zeitschr. VI. 89 beschrieben.

Neue Luftpumpe von Kemp *). Die gewöhnlichen Hahnluftpumpen setzen, sobald die durch sie bewirkte Luftverdünnung eine gewiße Gränze erreicht hat, dem weiteren Fortschreiten derselben dadurch eine Gränze, daß beim Aufziehen des Kolbens keine Luft mehr aus dem Recipienten in den Stiefel treten kann, weil die bereits zwischen dem Kolben und dem Stiefelboden befindliche Luft bei der größten Erweiterung des inneren Stiefelraumes noch so viel Expansivkraft hat, als die im Recipienten. Ventilluftpumpen unterliegen zwar nicht diesem, aber einem andern Gebrechen, welches davon herrührt, daß die bis zu einem gewissen Grade verdünnte Luft die Klappe nicht mehr zu öffnen vermag. Cuthbertson hat diesem durch eine besondere mechanische Vorrichtung abgeholfen, mittelst welcher bei jedem Kolbenzug das Ventil zugleich mit dem Kolben bewegt wird, so daß die Luft dieser Verrichtung ganz überhoben ist. So sinnreich auch der

*) Edinb. Journ. N. VIII. p. 95, oder Baumg. und Ett. Zeitschr. VIII. 193.

dazu angebrachte Mechanismus ist, so hält es doch schwer, mit einer auf solche Weise eingerichteten Luftpumpe die Luftverdünnung weit genug zu treiben, weil es fast unmöglich ist, die Klappen für die Dauer luftdicht zu machen, und weil das zu ihrem besseren Schlusse stets nöthige Öl durch seine Dünste der weiteren Luftverdünnung entgegen wirkt.

Kemp schlägt nun eine Luftpumpe vor, welche von den letzteren Mängeln frei sein soll, indem, wie bei Cuthbertson's Luftpumpe, die Ventile durch den Mechanismus der Pumpe bewegt werden, und der Schluß derselben ganz vollkommen ist. Es ist kaum möglich, ersteres auf eine einfachere Weise zu erreichen, als es Kemp thut, denn die ganze Vorrichtung zur Bewegung der Ventile besteht darin, daß er sogenannte Schwimmventile anwendet, die sich schließen und öffnen, so wie die Flüssigkeit, worin sie schwimmen, steigt oder sinkt. Die dazu verwendete Flüssigkeit ist das Quecksilber, welche überdies alle Sorge benimmt, daß etwa ihre Dünste einen schädlichen Einfluß auf die Luftverdünnung ausüben könnten.

Fig. 13 und 14 stellen diese Luftpumpe vor, und zwar erstere in der vorderen Ansicht, letztere im Durchschnitte. Gleiche Buchstaben bedeuten in beiden Figuren dasselbe. Das hölzerne Gestelle I K X W hat drei horizontale Querwände R S, C D und I W. Ganz unten befinden sich die zwei Stiefel A, B der Pumpe, die von Eisen sein müssen, damit sie vom Quecksilber nicht angegriffen werden. Die Kolbenstangen V, V gehen durch alle drei Querwände, und gehen oben in gezähnte Fortsetzungen über, welche es möglich machen, die Kolben mittelst eines Getriebes D und einer Kurbel zu bewegen; am obern Theil der Stiefel geht jede Stange durch eine luftdicht schließende Lederbüchse. Die oberste Querwand I W enthält den Teller für den Recipienten, und unter diesem befinden sich zwei Gefäße G und F, welche diese Luftpumpe besonders charakterisiren, und als Hülfsgefäße angesehen werden müssen. Sie mögen Verdünnungsgefäße heißen. Diese haben oben einen trichterförmigen Aufsatz mit einem Ventil, das sich von Innen nach Außen öffnet, und stehen sowohl mit dem Teller als mit den beiden Stiefeln in Communication, und zwar auf folgende Weise: in jedem dieser Gefäße befindet sich eine Röhre, die der ganzen Länge nach durch dasselbe geht, und sich nahe am Boden desselben endet, wo sie aber mit einem Schwimmventil M versehen ist, das sich durch einen Druck von unten nach oben schließt. Diese beiden Röhren H H laufen außerhalb der Gefäße, bevor sie sich in den Teller einmünden, in eine einzige zusammen, und durch sie stehen die Gefäße mit dem Teller in Communication. Die Verbindung dieser Gefäße mit den Stiefeln ist durch die Röhren P, N und E hergestellt. P verbindet den obern Theil des Stiefels A mit dem untern des Gefäßes G, und eben so setzt N den obern Theil des Stiefels B mit dem untern des Gefäßes F in Communication. Die Röhre E (Fig. 13) vermittelt die Verbindung des untern Theiles des Stiefels A mit dem untern des Gefäßes F, und dasselbe thut eine ähnliche

in der Zeichnung nicht sichtbare Röhre mit dem untern Theile des Stiefels B und dem Gefäße G.

Um nun die Wirkung dieser Pumpe einzusehen, denke man sich den Kolben R des Stiefels A ganz hinaufgezogen, und den Kolben des Stiefels B am untersten Platze, so daß bei der folgenden Drehung der Kurbel ersterer Kolben herab-, letzterer hinaufsteigt, und setze voraus, es sei A nebst E, und der ober dem Kolben befindliche Theil des Stiefels F nebst der dazu gehörigen Röhre N mit Quecksilber gefüllt, und auch die Trichter G enthalten Quecksilber.

So wie der Kolben R sinkt, treibt er das Quecksilber aus A und E nach F, und dasselbe thut der steigende Kolben im Stiefel B mit dem ober dem Kolben und dem in der Röhre N befindlichen Quecksilber. Dadurch hebt sich das Ventil M, schließt die Röhre H, öffnet das Ventil G, und es wird aus dem Gefäße F die Luft vertrieben. Sobald R sinkt, dringt das Quecksilber aus F durch die Röhre P in den ober R entstehenden leeren Raum, und es schließt sich das Ventil F. Sobald die Oberfläche des Quecksilbers unter M zu stehen kommt, sinkt das Schwimmventil M, es öffnet sich dadurch die Communication zwischen dem Gefäße F und dem Recipienten, und letzterer liefert einen Theil seines Luftinhaltes nach F. Während dieses mit dem Kolben R vorgeht, erfolgt gerade das Entgegengesetzte mit dem Kolben des andern Stiefels, und es wird immer durch eines der Gefäße F und G Luft aus dem Recipienten geschöpft.

Es ist klar, daß bei dieser Einrichtung die Klappe M entweder ganz offen steht, oder luftdicht durch das Quecksilber geschlossen ist, wie es der Bau einer guten Luftpumpe fodert.

Neue hydrostatische Luftpumpe ohne Kolben, Hähne, Klappen und Stöpsel, von J. Mile *). In dieser Luftpumpe vertritt Quecksilber die Stelle des Kolbens und in dieser Hinsicht ist sie nicht neu, indem bereits Swedenborg, Baader und Hindenburg ersteres dabei angewandt haben. Dadurch aber unterscheidet sie sich wesentlich von andern, daß bei ihr fast gar keine mechanischen Vorrichtungen angebracht sind.

Wir wollen die Beschreibung ihrer Einrichtung hier wiedergeben, wenn wir auch die Ansicht des Verfassers nicht theilen, daß sie von sehr praktischer Anwendbarkeit sein könnte. Das Verständniß dieser Einrichtung wird durch die Figuren 15, 16 und 17 erläutert, von denen Fig. 15 die Maschine von vorn, Fig. 16 von der Seite und Fig. 17 im Horizontaldurchschnitte nach der Linie xx vorstellt. Dieselben Theile sind in allen Figuren mit denselben Buchstaben bezeichnet.

Das Hauptbehältniß, in dem der Wechsel der Ausdehnung und Zusammendrückung der Luft geschehen soll, ist ein Cylinder oder die Kugel a, die in die Röhre bb, welche unten geöffnet ist, übergeht. In dem obern

*) Kastn. Arch. XV. 1.

Theil dieser Kugel sind zwei Röhren gg und hh eingekittet, deren Durchmesser ungefähr eine Linie beträgt. Die Röhre gg muß bis in den Hals der Kugel a reichen; sie hebt sich in die Höhe, beugt sich dann wieder nach unten, und ist mit der auf dem Teller aufgestellten Glocke o und mit der Barometerprobe k verbunden. Die zweite Röhre hh aber darf nicht in die Kugel hineinreichen und braucht nur auf dem Halse derselben aufgekittet zu werden, damit die letzte Luftblase beim Comprimiren leicht hinaus könne. Diese Röhre ist gebogen und tritt mit ihrem zweiten auch offenen Ende in das Gefäß i. Auf die Röhre bb muß die zweite Röhre cc sich gleich einer Scheide leicht aufschieben lassen; sie ist unten verschlossen, oben aber trichterförmig so erweitert, daß dieser Theil über die Kugel aufzubringen ist. Dieser Trichter dd sammt der Röhre cc kann aber in die Höhe gebracht werden und zwar vermittelst der durch das Drehen der Kurbel bewegten Rolle p, auf die sich Schnüre aufwinden, die über die Rolle ll nach dem Trichter hingehen.

Die Röhren gh, wie auch die Kugel a können aus Glas, die Röhren bb, cc aber müssen aus Eisen und der Trichter von Holz sein. Alles kann, wie die Figuren zeigen, am hölzernen Gerüste befestigt werden. Einer besondern Aufmerksamkeit bedarf das Befestigen der Kugel a durch die Klammer n, weil diese Kugel von allen Seiten frei bleiben muß, um den Trichter über dieselbe hinaufziehen zu können. Die Maschine kann vermöge der Haken mm an der Wand aufgehangen werden; auf diese Art nimmt sie ungeachtet ihrer Höhe nicht viel Raum ein.

Die Vorbereitung zum Gebrauch der Luftpumpe besteht in dem Anfüllen des Trichters dd mit so vielem Quecksilber, daß bei dessen Aufziehen über die Kugel und bei deren ganzem Anfüllen, das Niveau im Trichter über dem höchsten Punkt der Kugel stehe, was das Ausstoßen aller Luft aus letzterer versichert. Außerdem muß man etwa ein Paar Linien über die Öffnung der Röhre hh noch Quecksilber in das Gefäß i gießen.

Das Auspumpen der Luft geschieht auf folgende Art durch Aufziehen und Herablassen des Trichters dd. Beim Aufziehen des Trichters bis auf die Kugel a verschließt das aufsteigende Quecksilber gleich die Öffnung g; deshalb kann die in der Kugel zusammengedrückte Luft nur durch die Röhre hh heraustreten; und dieses geschieht mit großer Leichtigkeit, weil sie nur den Widerstand einer ein Paar Linien hohen Quecksilbersäule im Gefäße i zu überwinden hat. Wenn alle Luft aus der Kugel a herausgetrieben ist, was am Aufhören des Brausens im Gefäße i zu erkennen ist, wird der Trichter herabgelassen, worauf das sich senkende Quecksilber eine Leere in der Kugel a zurückläßt. Dadurch wird zugleich die vorher durch das Quecksilber verschlossene Öffnung der Röhre g frei; jetzt kann also die Luft aus der Glocke in die Kugel a so lange hinüberströmen, bis es zum Gleichgewichte kommt. Die äußere Luft wird in die Kugel einzudringen streben, hat hiezu aber nur einen Weg, nämlich die Röhre hh, durch welche sie hinausgetreten. Da aber das Ende dieser Röhre im Quecksilber

des Gefäßes i eingesenkt ist, so wird die auf die Oberfläche des Quecksilbers drückende Luft dasselbe in der Röhre hh höchstens 28 Zoll hoch treiben, jedoch in die Kugel nicht gelangen können. Um den aus der Glocke in die Kugel vertheilten Theil der Luft herauszutreiben, wird der Trichter von neuem gehoben, wodurch das einströmende Quecksilber abermals die Öffnung g verschließt, und die Luft durch die Röhre hh heraustreibt. Durch das Wiederholen dieses Verfahrens wird man also immer eine neue Quantität Luft aus der Glocke herausbringen, die Verdünnung wird also stufenweise wie in einer gewöhnlichen Luftpumpe erfolgen.

Bei dieser Operation vertritt das Heben und Senken des Quecksilbers vermittelst des Trichters die Stelle des Kolbens, und indem es die Öffnungen der Röhren g und h bald der heraustretenden Luft öffnet, bald der eintretenden verschließt, wirkt es anstatt der Hähne, Ventile und Stöpsel der bis jetzt gebräuchlichen sowohl mechanischen als hydrostatischen Luftpumpen.

Aus der Beschreibung der Wirkung geht hervor, warum diese Luftpumpe so hoch ausfällt und die Röhren über 28 Zoll Länge bekommen müssen. Denn wenn das Quecksilber nicht über 28 Zoll unter die Öffnung g herabgelassen werden könnte, würde gegen das Ende der Verdünnung der Luft die Kugel a sich des Quecksilbers nicht entleeren, noch sich mit Luft anfüllen, auch würde die Röhre g nicht geöffnet werden können. Desgleichen, wenn die Röhre gg nicht 28 Zoll erhoben wäre, so würde im Augenblicke des Eindringens des Quecksilbers in die Kugel a, während der schon hochgetriebenen Luftverdünnung unter der Glocke, das Quecksilber durch diese Röhre in die Glocke überlaufen. Wenn endlich die Röhre hh nicht über 28 Zoll lang wäre, so würde während der Verdünnung der Luft in der Kugel a das von der äußern Luft gedrückte Quecksilber aus dem Gefäß i in die Kugel und hintendrein die äußere Luft hineinströmen.

Das Einlassen der Luft in die Glocke nach Beendigung des Versuches geschiehet leicht, ohne Hülfe eines Hahns. Das Röhrchen k, welches sehr dünn, gekrümmt und oben trichterförmig erweitert ist, wird, indem man es mit dem Finger zuhält, durch das Quecksilber in die Öffnung der Röhre b eingesteckt, die es aber nicht zuschließen darf. Nachdem man den Finger hinweggenommen, strömt die leichtere Luft in die Kugel und von da in die Glocke. Man könnte dasselbe dadurch bewirken, daß man den Trichter dd so tief herabsenkte, bis das Ende der Röhre bb frei in die Luft hervorstünde; in diesem Falle aber würde die durch die größere Öffnung in zu großer Menge einströmende Luft das Quecksilber in die Röhre g und in die Glocke mit fortreißen.

## Verhinderte Expansion des Pulvergases.

Nach Flachin von Yverdun soll es hinreichen, um die Entladung einer Kugel aus einer Flinte bei Entzündung des Pulvers zu verhüten,

den Ladstock auf die Kugel zu setzen und den Finger auf das Ende des Ladstocks zu legen. Das Gewehr muß aber stark sein, denn es springt leicht bei diesem Versuche in Stücke *).

---

## XI. Bewegungserscheinungen elastischer Flüssigkeiten.

Über Verbreitung elastischer Flüssigkeiten von Graham **). Graham hat Versuche über die relative Leichtigkeit angestellt, mit welcher heterogene Gase, in Berührung mit einander gebracht, sich durch einander verbreiten und einander durchdringen.

Folgendes sind die Resultate, zu denen er hiedurch geführt ward:

1) Ein Gas verbreitet sich um so leichter in die atmosphärische Luft, je geringer sein spec. Gewicht ist.

2) Das Gas entweicht in demselben abnehmenden Verhältniß aus einem Recipienten in die Atmosphäre, welches bei der mechanischen Entleerung der Luftpumpe gilt; daher fallen die Differenzen in der ausgeströmten Quantität bei verschiedenen Gasen verhältnißmäßig um so größer aus, auf eine je kleinere Zeit vom Anfange an man die Vergleichung beschränkt.

3) Einen großen Einfluß übt der von der Schwere abhängige mechanische Widerstand auf die Resultate aus, der bei Gasen bei verschiedener Dichtigkeit nicht constant ist, bei gleicher Stellung des Recipienten.

4) Bei gemischten Gasen gilt das Gesetz, daß das diffusiblere Gas in größerer, das minder diffusible in geringerer Verhältnißmenge entweicht, als die nämlichen Gase in gesondertem Zustande.

5) Wasserstoffgas wird in einem hohen Recipienten viermal rascher expandirt durch Schwefeläther als durch gemeine Luft ***).

Vorrichtungen, mittelst deren die Versuche angestellt wurden. I) Zur Untersuchung der Verbreitung verschiedener Gase in atmosphärische Luft wurde ein cylindrischer gläserner Recipient A (Fig. 18) von 9 Zoll Länge und 0,9 Zoll innerem Durchmesser in Anwendung gesetzt, der in 150 gleiche Theile eingetheilt und mit einem Stopfer B versehen war, welcher durch sorgsames Schleifen genau in die Mündung des Recipienten eingepaßt worden war. Der Stopfer war der Länge nach durchbohrt; der kleine cylindrische Canal in demselben hielt 0,34 Zoll im Durchmesser und war 1,8 Zoll lang, und in der Mündung dieses Canals war wiederum ein kurzes Stück einer starken Glasröhre eingeschliffen worden,

*) Bibl. univ. 1830. p. 417.

**) Quat. J. of sc. N. ser. No. XI. (Jul. — Sept. 1829) p. 74, oder Schweigg. J. LVII. S. 215.

***) Soll wohl heißen, verbreitet sich viermal schneller in einer Atmosphäre von Schwefelätherdampf, als von gemeiner Luft.

deren Kaliber 0,07 oder beinahe $\frac{1}{14,3}$ Zoll weit, und das in der Mitte rechtwinkelig gebogen war, wie in C zu sehen. Dies waren die Dimensionen der Röhre A; nach mehreren Versuchen aber wurde die Röhre C bei Seite gelegt, und eine zweite größere Röhre von 0,12 Zoll im Kaliber und 2 Zoll Länge in die Öffnung des großen Stopfers B eingeschliffen, und (wie die Röhre C) in der Mitte rechtwinkelig gebogen.

Der so eben beschriebene Recipient wurde nach einander mit verschiedenen Gasen im Zustande vollkommener Reinheit gefüllt, und, in einem Futteral eingeschlossen, horizontal auf ein Gestell gelegt, mit aufwärts gerichtetem Ende der gebogenen Röhre (wie Fig. 19), wenn das darin befindliche Gas schwerer als atmosphärische Luft, und mit abwärts gerichtetem Ende dieser Röhre, wenn das Gas im Innern leichter war als die Luft, um dem Streben des Gases, aus dem Recipienten zu entweichen, auf keine Weise Vorschub zu leisten. Nachdem man dem Gase eine gewisse Zeit lang gestattet hatte, sich aus dem Recipienten durch die Röhre in die Luft zu verbreiten, wurde der Recipient in eine pneumatische Wanne gebracht, und die Quantität der von Außen eingedrungenen Luft und des darin zurückgebliebenen Gases bestimmt. Zwei bis dreimal, und bisweilen noch öfter, wurden die Versuche mit jedem einzelnen Gase wiederholt, und die Resultate ganz regelmäßig oder doch nur innerhalb beschränkter Gränzen (moderate limits) schwankend gefunden.

II) Zur Untersuchung der Verbreitung verschiedener Gase in anderer als atmosphärischer Luft. Eine Flasche A (Fig. 20) von 5,2 Cub. Zoll Rauminhalt, die mit einem durchbohrten Korke versehen war, wurde mit dem einen Gase gefüllt, die Flasche mit der Mündung abwärts gehalten, eine Glasröhre von 0,12 im Lichten durch den Kork hindurchgebreht und zugleich schnell in den durchbohrten Kork einer andern Flasche B hineingeschoben, welche 37 Cub. Zoll faßte und mit dem andern Gase angefüllt war. Das Ganze wurde hierauf so tief in Wasser eingesenkt, daß die Oberfläche des Wassers a a (Fig. 21) über die Fugen hinaufreichte. Nach Verlauf einer gewissen Zeit wurde die obere Flasche weggenommen und ihr Inhalt geprüft.

Belege zu den Resultaten. Zu I). Nach 10stündiger Verbreitung durch die erste Röhre (Vorrichtung A) wurde in dem 150 Theile fassenden Recipienten gefunden

| | | |
|---|---|---|
| Wasserstoffgas . . . . | (von 0,0694 spec. Gew.) | 8,3 Th. |
| Sumpf-Kohlenwasserstoffgas | ( = 0,5555 = = ) | 56 = |
| Ammoniakgas . . . . | ( = 0,59027 = = ) | 61 = |
| Ölbildendes Gas . . . | ( = 9,9722 = = ) | 72,5 = |
| Kohlensäuregas . . . . | ( = 1,5277 = = ) | 79,5 = |
| Schwefeligsaures Gas . . | ( = 2,2222 = = ) | 81 = |
| Chlorgas . . . . . . | ( = 2,5 = = ) | 91 = |

Nach 4stündiger Verbreitung durch dieselbe Röhre wurden in 152 Theilen

| | gefunden | waren folglich entwichen |
|---|---|---|
| Wasserstoffgas | 28,1 | 123,9 |
| Sumpf-Kohlenwasserstoffgas | 86 | 66 |
| Ammoniakgas | 89 | 63 |
| Ölbildendes Gas | 99 | 53 |
| Kohlensäuregas | 104 | 48 |
| Schwefeligsaures Gas | 110 | 42 |
| Chlorgas | 116 | 36 |

Wenn man aus diesen Tafeln die relative Verbreitungsfähigkeit der Gase herleiten will, darf man das abnehmende Verhältniß der später aus dem Recipienten strömenden Antheile dieser Gase nicht außer Acht lassen.

Zu 2). Diesen Satz versichert Graham am ölbildenden Gase bewährt zu haben, ohne jedoch nähere Belege anzuführen.

Zu 3). Der Einfluß der Schwere der Gase kann nach einem Versuche mit Wasserstoffgas beurtheilt werden. Der mit Wasserstoffgas gefüllte Recipient wurde, statt horizontal gelegt, aufrecht gestellt. Bei übrigens gleichen Umständen, wie in dem in der vorhinangeführten Tabelle verzeichneten Versuche, wurden von 150 Theilen Wasserstoffgas nach 10stündiger Verbreitung noch 22,1 Theile im Recipienten gefunden, anstatt 8,3 Theile, wie in jenem ersten Versuche.

Zu 4). Graham versichert diesen Satz durch mehr als 40 mit verschiedenen Gasgemischen angestellte Versuche bestätigt gefunden zu haben, wovon hier zwei, mit Mischung aus ölbildendem Gase und Wasserstoffgase, Platz finden mögen, bei deren einem die Verbreitung in atmosphärische Luft, bei dem andern in kohlensaures Gas geschahe.

a) Der Recipient der Vorrichtung I. wurde mit 75 Volumentheilen Wasserstoff und 75 Volumentheilen ölbildendem Gase gefüllt, gut umgeschüttelt und 24 Stunden lang über Wasser hingestellt, um eine möglichst vollkommene Mischung zu erzielen. Der Recipient wurde sodann in die gewöhnliche Lage gebracht, und den gemischten Gasen 10 Stunden lang gestattet, sich in die Luft zu verbreiten. Hiernach fand sich, daß der Recipient enthielt:

| | |
|---|---|
| Wasserstoffgas | 3,5 |
| Ölbildendes Gas | 56,6 |
| Luft | 89,9 |
| | 150 |

folglich waren entwichen

| | |
|---|---|
| Wasserstoffgas | 71,5 von 75 Th. |
| Ölbildendes Gas | 18,4 von 75 = |

Das diffusibelere Gas hatte sich mithin von dem andern getrennt und war zum größten Theil entwichen.

Nun entweichen aber 72,5 Theile des ölbildenden Gases unter denselben Umständen wie im vorigen Versuche, wenn der Recipient nichts als reines Gas dieser Art enthält. (Vergl. oben S. 122 und 123.) Deshalb sollten wir glauben, es müsse doch die Hälfte dieser Gasmenge, also 36,25 Theile, entweichen, wenn der Recipient nur zur Hälfte mit jenem Gase gefüllt ist; und wirklich geschieht dies auch, wenn die fehlenden 75 Theile aus gewöhnlicher atmosphärischer Luft bestehen. Anstatt 36,25 Theile entwichen aber im letzterwähnten Versuche nur 18,5 Theile ölbildenden Gases aus dem Recipienten. Der Unterschied zwischen der Verbreitung beider Gase ist sonach im gemischten Zustande in der That größer als im gesonderten.

b) Die Flasche A (Vorrichtung II.) wurde mit einer innigen Mischung von gleichen Theilen ölbildendem Gase und Wasserstoffgase, die Flasche B mit kohlensaurem Gase gefüllt, und die in II. beschriebene Anordnung damit getroffen. Als nach 10 Stunden die obere Flasche weggenommen und der Inhalt mit Kalkwasser gewaschen wurde, blieb ein Gemisch von

| | |
|---|---|
| Ölbildendem Gase . . . . . | 22 |
| Wasserstoffgas . . . . . . . . | 3,1 |

Unstreitig würde das ölbildende Gas noch reiner erhalten worden sein, wäre die Verbreitung des Wasserstoffgases nicht sehr verhindert worden, theils durch die Richtung nach Unten, in welcher sie Statt finden mußte, theils die Dichtigkeit des Mediums, in welches es sich verbreitete.

Graham fügt noch einige Beispiele hinzu, betreffend Mischungen aus kohlensaurem und Wasserstoffgas, ölbildendem Gas und Kohlenwasserstoffgas, kohlensaurem und Sumpf-Kohlenwasserstoffgas.

Aus den Versuchen mit Gemengen aus letzteren Gasarten, mit successiv abnehmendem Verhältniß von kohlensaurem Gas, zieht er den Schluß, daß man von der verschiedenen Verbreitungsfähigkeit der Gase Nutzen ziehen könne, sie auf mechanische Weise bis zu einem ziemlichen Grade der Reinheit von einander zu trennen, wenn keine chemischen Hülfsmittel hiezu vorhanden sind. Gesetzt z. B. wir hätten eine Mischung aus gleichen Maßen Kohlensäure und Kohlenwasserstoffgas zu trennen. Man überlasse diese Gasmischung eine gewisse Zeit lang der freiwilligen Verbreitung in einer Gas- oder Dampf-Atmosphäre, welche nachher durch Absorption oder Condensation leicht hinweggeschafft werden kann. Nach Entfernung dieser Atmosphäre würde ein Gemisch aus einem größerm Verhältnisse Kohlenwasserstoffgas und kleinerm Verhältnisse kohlensauren Gas, als vorher, zurückbleiben, z. B., wenn wir hier und im Folgenden die bei Graham's Versuch wirklich erhaltenen Resultate zu Grunde legen wollen, ungefähr 2 Theile des erstern gegen 1 Theil des zweiten. Eine in gleicher Weise mit dem rückgebliebenen Gasgemisch veranstaltete Verbreitung würde eine dritte Gasmischung liefern, welche z. B. aus 4 Theilen Kohlenwasserstoffgas und 1 Theil kohlensauren Gas besteht. Durch Verbreitung dieser drit-

ten Mischung würden 6 bis 7 Theile des ersten gegen 1 Theil des zweiten Gases erhalten werden, u. s. f.

Schließlich mögen noch folgende zwei Versuche mitgetheilt werden:

Ein hoher Recipient war mit einer Mischung von 2 Theilen Wasserstoff und 1 Theil Sauerstoff auf $\frac{3}{4}$ angefüllt worden; dies Gemisch blieb 3 Wochen lang stehen, wurde aber vor Anstellung des Versuchs noch ganz rein befunden. Als ein wenig Äther in diese Mischung eingebracht wurde, dehnte sich jenes Gasgemisch plötzlich aus. Die erste, durch die Ausdehnung aus dem Recipienten herausgetriebene, Gasblase wurde aufgefangen, durch Waschen von Ätherdampf befreit und explodirt; sie ließ die Hälfte ihres Volums an reinem Wasserstoffgase zurück.

Drei Unzen wäßerigen Alkohols (von 0,964 spec. Gewicht) wurden, in einem 2 Zoll tiefen Cylinder, und die nämliche Quantität Alkohols in einem 6 Zoll tiefen, im übrigen aber ganz ähnlichen, Gefäße, der freiwilligen Verdunstung überlassen, wobei die Mündungen beider Gefäße nur ganz lose mit Papier bedeckt waren. Als beide Gefäße $\frac{1}{2}$ Unze durch Verdünstung verloren hatte, ergab sich bei Prüfung der rückständigen Flüssigkeit, daß die im tieferen Gefäße befindliche eine merklich größere Menge Alkohol enthielt, als die im minder tiefen.

## Anemometer.

Folgendes Anemometer rührt von Lind *) her. Es besteht aus einem umgekehrten Heber, dessen Enden horizontal nach zwei entgegengesetzten Richtungen gebogen sind. Füllt man den Heber zum Theil mit Wasser und stellt ihn mit einem seiner Enden gegen den Luftstrom, so wird der Druck des letztern das Wasser in dem einen Schenkel niederdrücken, bis seine Kraft durch die größere Höhe des Wassers im andern Schenkel im Gleichgewicht gehalten wird, und der Unterschied beider Säulen dient zum Maß der Kraft des Windes.

Wendet man bei Lind's Instrumente eine Flüssigkeit an, die leichter als Wasser ist, so wird es auch in demselben Maße empfindlicher; allein eine Erhöhung der Empfindlichkeit auf diesem Wege findet begreiflich bald ihre natürlichen Gränzen, da die leichtesten bekannten Flüssigkeiten doch immer noch ungefähr $\frac{3}{4}$ Mal so schwer als Wasser sind. Dagegen wird man durch Anwendung des Wollastonschen Differenzialbarometers auf die S. 116 angegebene Weise ein Anemometer von beliebiger Empfindlichkeit erhalten können.

Instrument zur Bestimmung der Luftmenge, welche einer Feuerstelle während des Verbrennens zuströmt, von F. Frey **).

Dieses Instrument hat viele Ähnlichkeit mit dem Woltmannschen Wind-

*) Pogg. XVI. 622.

**) Bull. de la soc. indust. de Muhlhausen. No. 9. p. 337, oder Baumg. Zeitschr. VII. 450.

flügel. Es besteht aus einer kupfernen Röhre, in welcher sich ein verticales Rad mit schief gestellten Windflügeln befindet, wie man sie oft an den Fenstern angebracht sieht. An der Welle dieses Rades steckt zugleich ein Getriebe mit 5 Stäben, in welches ein horizontales Rad mit 50 Zähnen eingreift, an dessen Axe außerhalb der Röhre sich ein Zeiger befindet, der über einer getheilten Platte spielt. Unter diesem Zeiger, und zwar an derselben Axe, befindet sich ein anderes Getriebe, das ebenfalls 5 Zähne hat, und dieses greift in ein Rad mit 50 Zähnen ein, an dessen Axe ein zweiter Zeiger steckt. Dieser steht auf ähnliche Weise mit einem dritten Rade in Verbindung, das wieder einen Zeiger an seiner Welle hat. Der ganze Apparat besteht demnach aus einem Windflügel und der zum Zählen der Umdrehungen desselben nöthigen Einrichtung. Einer der drei genannten Zeiger macht während einer Umdrehung des Flügelrades 10 Umdrehungen, der andere 100, der dritte 1000.

Um dieses Instrument zum genannten Zwecke brauchen zu können, ist vor allem nothwendig, daß man die Anzahl der Umdrehungen des Flügels kenne, während eine bestimmte Gasmenge an demselben vorbeigeht, wozu nur ein Versuch führt. Frey nahm zu diesem Ende eine hölzerne, oben geschlossene, unten offene Kiste, die ½ Cubikmeter faßte. Am obern Boden derselben war eine rechtwinkelige gebogene Röhre aus Weißblech angebracht, an deren horizontalen Arm die Röhre des Luftstrommessers angebracht werden konnte. Diese Kiste wurde wie ein Gasometer über einer oben offenen, mit Wasser gefüllten größeren aufgehängt, und mit größerer oder kleinerer Geschwindigkeit in dieselbe mittelst einer Kurbelvorrichtung eingesenkt. Die beim Einsenken aus dem Gasometer vertriebene Luft mußte beim Luftstrommesser vorbeigehen, und den Windflügel in Bewegung setzen. Dabei erfuhr man, wie viele Umdrehungen der letztere in einer gewissen Zeit durch die aus dem Gasometer entweichende Luftmenge mache. Die Erfahrung lehrte, daß bei einer mäßigen Geschwindigkeit dieselbe Luftmasse auch immer dieselbe Anzahl Umdrehungen zu wege bringt. Bei einem Apparate, dessen Windrad 34 gerade, unter 45° geneigte, Flügel hatte, erfolgten durch 100 Liter Luft 154,8 Umdrehungen, es mochte diese Luftmasse in 3″ oder in jeder längeren Zeit bis auf 30″ ausströmen. An einem andern Instrumente mit 8 kürzeren, aber breiteren, und um 50° geneigten Flügeln bewirkten 100 Liter Luft 107,686 Umdrehungen. Demnach entsprechen 1000 Umdrehungen des Windflügels beim ersteren Instrumente 645,99 Liter, beim zweiten 928,62 Liter Luft.

Bringt man dieses Instrument am Zugloche eines Windofens an, so erfährt man die einströmende Luftmenge. Wird es am Kamine angebracht, so giebt es die aufsteigende Luft an.

Als dieser Luftstrommesser an dem Windloche eines Ofens, wo in einem Sandbade eine Evaporation beabsichtiget war, angebracht wurde, machte der Windflügel, gleich nachdem Feuer gemacht war, in 120 M. nahe 55000 Umdrehungen, in den folgenden 150 M. stieg die Zahl der

Umdrehungen auf 70000. Nach ½ Stunde, wo alles gehörig durchgewärmt war, betrug diese Zahl für 1 Stunde 68300 Umdrehungen.

Da man weiß, wie viel Holz in einer Stunde verbrennt, und auch die hiezu nöthige Sauerstoffmenge bekannt ist, so kann man aus den Ergebnissen solcher Versuche sehen, ob der Verbrennungsproceß vollkommen vor sich gehe oder nicht.

## Anziehungserscheinungen, durch ausströmende elastische Flüssigkeiten, veranlaßt.

Bekanntlich haben Clement, Thénard, Hachette *) u. A. die bemerkenswerthe Erfahrung gemacht, daß, wenn Luft oder Dampf mit einer gewissen Kraft aus einem Rohre ausströmt, dessen Mündungsebene sich in eine ebene Fläche fortsetzt, eine in kleiner Entfernung gehaltene Platte gegen die Mündung hingezogen wird, und daran hängen bleibt, wie durch eine Art Anziehung festgehalten, ungeachtet man für den ersten Anblick gerade den entgegengesetzten Erfolg erwarten sollte, nämlich ein Fortstoßen der Platte durch den austretenden Luftstrom. Eben so wird hier als bekannt vorausgesetzt, daß dieser Erfolg von einer Differenz des Drucks der Atmosphäre auf die von der Mündung abgewandte Fläche der Platte und des Drucks der ausströmenden Luft auf die zugewandte Fläche herrührt, indem der letztere Druck, wegen des größeren Raumes, in den sich die Luft ausgebreitet hat, und ihre hiedurch bewirkte Dichtigkeitsverminderung geringer wird, als der äußere atmosphärische Druck.

Neuerdings sind mehrere Apparate und Versuchsweisen angegeben worden, welche dieselbe Erscheinung oder Erscheinungen, die auf gleichen Grund zurückzuführen sind, unter verschiedenen Formen darstellen, und die wir hier mittheilen wollen.

a) Von Faraday **). Die aller einfachste Art, einen solchen Versuch anzustellen, möchte folgender von Faraday sein, da sie jedem im eigentlichsten Sinne des Worts unmittelbar zur Hand ist.

Man schließe die Finger der offenen Hand genau an einander, wo doch immer noch ein kleiner spaltgleicher Zwischenraum zwischen denselben sich von Gelenk zu Gelenk erstrecken wird, halte die Hand horizontal, so daß die Fläche abwärts gekehrt ist, applicire die Lippen auf das Intervall zwischen dem zweiten und dritten Finger nahe an ihren Wurzeln und blase mit Kraft. Es wird ein starker Luftstrom durch die Öffnung der flachen Hand herausdringen. Hat man nun ein Stück Papier oder Karte von 3 bis 4 Quadratzoll an die Öffnung applicirt, so wird es weder durch den Luftstrom fortgeblasen werden, noch durch sein Gewicht herabfallen, vielmehr an die Hand angedrückt bleiben, so lange das Blasen fortgesetzt wird, im Augenblick aber, wo dieses aufhört, niederfallen.

*) Man vergleiche besonders des letzteren lesenswerthe Abhandlungen in den Ann. des sc. d'obs. T. IV. p. 161 und Pogg. X. 265.

**) Journ. of the royal Inst. 1831. No. 2. p. 369.

b) Von Quetelet*). Schiebt man ein Blatt Papier, das in der Mitte durchbohrt ist, auf die Düse eines Blasebalgs, bläst nun mit diesem gegen eine feste Wand, so begiebt sich das Papier augenblicklich gegen die letztere, selbst wenn es 12 bis 15 Linien von derselben entfernt war. Nimmt man dagegen, statt des beweglichen Papierblattes, eine befestigte Blechplatte, und stellt dem Strome gegenüber eine bewegliche Fläche auf, so wird die Annäherung der letztern gegen die erstere nur dann erfolgen, wenn sie, wie bei den Versuchen von Clement und Thénard, einen geringen Abstand von dieser besitzt.

c) Von Ewart (und Clement). In Fig. 22 stellt A den Querschnitt einer horizontalen, 7 Zoll im Durchschnitte haltenden Röhre vor, welche Luft aus einem Gebläse in einen Ofen führte. B ist ein umgekehrter Glasheber, der seitwärts in die Röhre eingefügt wurde. In die gegenüber liegende Seite der Röhre war ein Loch von 0,4 Zoll Durchmesser gebohrt, und in dieses ein konisches Rohr von verzinntem Eisenblech CD eingesetzt, welches eine Länge von 5,4 Zoll hatte, bei C 0,4 Zoll, und bei D, an seinem offenen Ende, 1,05 Zoll im Durchmesser hielt. In die untere Seite dieses konischen Rohres waren senkrecht 2 offene Glasröhren E und F eingefügt, deren untere Enden in einem Behälter mit Quecksilber standen. Die Axe der Röhre E war 0,5 Zoll von der Innenseite des Rohres A, und 2,2 Zoll von der Axe der Röhre F entfernt. In den umgekehrten Heber wurde etwas Quecksilber geschüttet, und das Gebläse dann in Thätigkeit gesetzt. Als nun die Luft mit einer Geschwindigkeit von 45 Fuß in der Secunde durch die Röhre A ging, stand das Quecksilber in dem äußern Schenkel des Hebers 1,8 Zoll höher als in dem innern, wogegen es sich in der Röhre F um 0,4 Zoll, und in der Röhre E sogar um 2,7 Zoll erhob. Dies beweist, daß die Elasticität der Luft bei E sehr verringert worden war, und daß sie von D nach F wieder zunahm. Als der innere in A erhöht wurde, stieg das Quecksilber in beiden Röhren E und F fast in gleichem Verhältnisse.

Ein anderer, von Ewart angegebener, Apparat ist folgender: A (Fig. 23) ist ein Längenschnitt einer senkrechten 4 Zoll im Durchmesser haltenden Röhre, die mit einem Behälter voll comprimirter Luft in Verbindung steht. BC ist ein Querschnitt einer flachen Scheibe von Holz, 11,8 Zoll im Durchmesser, welche in der Mitte eine kreisrunde Öffnung von 4 Zoll im Durchmesser besitzt, in welche das obere Ende der Röhre A gesteckt ist; DE ist der Querschnitt einer andern Holzscheibe, die gleichen Durchmesser mit BC besitzt, über dieser befestigt ist, und derselben durch Schrauben mehr oder weniger genähert werden kann.

In die Mitte von DE ist der umgekehrte Glasheber F eingesetzt, und 1,5 Zoll von ihm entfernt, ein zweiter G; ein dritter M steht seitwärts mit dem Rohre A in Verbindung; H, I und K sind kleine an beiden Enden

*) Pogg. XVI. 181.

offene Glasröhren, die mit ihren oberen Enden in BC eingefügt, und mit ihren untern in ein Gefäß voll gefärbten Wassers getaucht sind. Die Axe der Röhre H ist 0,9, die der Röhre I 1,21, und die von K 3,4 Zoll von der Innenseite der Röhre A entfernt.

Die Platte DE dieses Apparats wurde der Platte BC bis auf 0,2 Zoll genähert, etwas Quecksilber in die umgekehrten Heber gegossen, und der Compressionsapparat in Thätigkeit gesetzt. Der Heber G zeigte, wie der Heber M, einen inneren Druck von 1,25 Zoll, und der Heber F einen Druck von 1,3 Zoll Quecksilber. Das gefärbte Wasser stieg in H 9,0, in I 2,0, und in K 0,5 Zoll. Als der innere Druck in A verstärkt wurde, stieg das Wasser in H, I und K höher, und fast in allen diesen Röhren in gleichem Verhältnisse; und der herabwärts gerichtete Druck auf DE übertraf nun noch mehr den aufwärts wirkenden Druck aus A.

Analoge Versuche hat Clement angestellt. In die der Öffnung eines Dampfrohrs gegenüber befindliche Scheibe, die wie die Ebene der Öffnung bei Clement's Versuche vertical stand, wurde nahe an ihrem Rande eine kleine Öffnung gebohrt und in dieselbe eine gebogene Glasröhre befestigt, welche in ein, etwa 0,5 Meter, unterhalb der Scheibe stehendes, Gefäß mit Wasser tauchte. Sobald das Ausströmen des Dampfes begann, stieg das Wasser aus dem Behälter in die Glasröhre und erhielt sich darin in einer gewissen Höhe über dem äußern Niveau; ja es stieg sogar bis zum oberen Ende dieser Röhre und mischte sich mit dem am Rande der Scheibe ausströmenden Dampfe, so daß das Gefäß durch dieses Aufsaugen bald geleert wurde.

Bohrt man, statt am Rande, in der Mitte der Scheibe, welche der Mitte der Öffnung gegenüber steht, ein Loch, so strömt daselbst der Dampf mit Heftigkeit heraus, und wenn man hier, wie vorhin, ein in Wasser getauchtes Rohr befestigt, so wird das Wasser in diesem Rohre hinabgedrückt. Clement fand auf diese Weise, daß, in der Mitte der Scheibe, der innere Druck fast demjenigen gleich ist, welcher in dem Dampfkessel Statt findet, und von hier bis nach dem Umfange abnimmt, wo er sehr merklich geringer als der atmosphärische Druck ist.

d) Von Volz *). Man nehme eine, an beiden Enden offene, gerade oder heberartig gekrümmte, Barometerröhre a (Fig. 24) **), lasse eins ihrer Enden durch den Boden eines cylindrischen Gefäßes b von etwa 1 Zoll innerer Höhe und 1 Zoll Halbmesser der Grundfläche in der Richtung der Cylinderaxe luftdicht hindurchgehen; in eine, in der Cylinderfläche befindliche, runde Öffnung c, welcher gegenüber eine zweite etwas größere längliche angebracht ist, bringe man nun die Düse eines guten

*) Pogg. XVII. 89.

**) Die Originalfigur in Pogg. XVII. Taf. II, Fig. 7 scheint mir die Vorrichtung nicht recht deutlich darzustellen, ich habe daher nach der Beschreibung die Figur 24 entworfen; doch erhellt nicht aus der Original-Beschreibung, ob sich das Rohr a durch den Boden des Cylinders hindurch bis zum Niveau der Öffnung c verlängert.

Handblasbalges, nachdem man den unteren Theil der heberförmigen Röhre mit Wasser gefüllt, oder, wenn es eine gerade Röhre ist, denselben in ein Gefäß mit Wasser gesetzt; man drücke endlich den vollen Blasbalg rasch zusammen, so wird die Flüssigkeit in die Höhe gerissen.

Volz hat diesen Versuch noch verschiedenen Abänderungen, die jedoch auf dasselbe Princip zurückkommen, unterworfen, und unter andern auch statt Luft Dampf, der sich aus einem Dampfkessel entband, zur Hebung des Wassers in einer Steigröhre angewandt, wie in der Abhandlung näher beschrieben ist; er glaubt sogar, nach mehreren mitgetheilten Versuchen, daß sich hievon eine nützliche praktische Anwendung zur Hebung von Wasser machen lassen würde; doch möchte diese Methode mit anderen von praktischerer Anwendbarkeit den Vergleich nicht aushalten können. Eben so möchte die Erklärung dieser Erscheinungen, welche Volz in einer Adhäsion der Lufttheilchen unter einander oder des Dampfes an die Luft sucht, gegründeten Bedenklichkeiten unterliegen.

Über die Art der Bewegung eines gegen eine Fläche geblasenen Luftstroms, von Quetelet *)

Wenn man einen Luftstrom senkrecht oder schief gegen eine ebene Fläche richtet, so prallt derselbe nicht unter dem Einfallswinkel zurück, sondern gleitet längs der Fläche hin, wo er leichte Körper, die in oder an ihn gerathen, mit fortreißt. In der Nähe des auf die Ebene gerichteten Stroms **) biegt sich die Flamme einer Kerze gegen den Punkt, auf welchen man bläst; weiterhin stellt sie sich senkrecht gegen die Ebene, noch weiter nimmt sie eine schiefe Richtung, aber nach entgegengesetzter Seite, an und endlich legt sie sich der Ebene fast parallel. Hält man die Flamme endlich in die Verlängerung der Ebene, so wird sie mit Gewalt in dieser Richtung fortgeblasen. Die vom Strome fortgetriebene Luftschicht scheint eine sehr starke Adhärenz zu der Ebene zu besitzen, und man bemerkt, daß sie anfangs sehr dünn ist, weiterhin sich aber mehr ausbreitet. Trifft sie eine zweite Fläche, die mit der ersten einen rechten oder stumpfen Winkel bildet, so wird sie von dem Strome auch längs dieser Fläche hinweggeführt; ist der Winkel aber spitz, so geht der Strom hauptsächlich in der Richtung der Kante, und übertrifft er endlich 180°, so schreitet er nur in Richtung der ersten Fläche fort, ohne sich nach der zweiten umzubiegen.

Diese Umstände hängen unstreitig mit denen, welche im Vorigen angeführt worden sind, zusammen, indem das Umbiegen der Flamme gegen den Strom auf eine analoge Weise zu erklären ist, als das Anziehen einer, gegen die Mündung der Ausströmungsöffnung eines Gases gehaltene, Platte. In diesem Bezuge ist es auch nach Poggendorff's Anmerkung (Pogg. XVI. 183) lehrreich, den Versuch so anzustellen, daß man die Ebene fortläßt, und ins Freie neben einer Lichtflamme vorbeibläst; die Krümmung

*) Correspondance math. et phys. III. 92; im Ausz. in Pogg. XVI. 183.

**) D. h. unstreitig in der Nähe die Stelle, wo die Richtung des Stroms in die Ebene eintrifft.

der Flamme nach dem Strome hin und selbst in ihn hinein, wenn der Abstand nicht zu groß ist, giebt einen augenfälligen Beweis von der Gegenwirkung des atmosphärischen Drucks bei diesen Vorgängen.

Um zu erfahren, welche Bewegungen die Luft zwischen zwei Flächen machen würde, deren Abstand größer war, als der, bei welchem das Anziehungsphänomen in den Clementschen und Hachette'schen Versuchen noch auftritt, befestigte Quetelet die beiden Flächen. Es zeigte sich, daß alsdann die Flamme einer Kerze in der Verlängerung der Ebene, gegen die geblasen wurde, nur in einem sehr unmerklichen Grade fortgetrieben ward, sobald deren Rand einige Zolle über die gegenüberstehende Fläche hervorragte. Es stellte sich nämlich dann eine zusammengesetzte Bewegung ein. Um diese besser beobachten zu können, streute Quetelet feinen Sand bald auf die eine, bald auf die andere dieser Platten, wie man es zu Hervorbringung der Chladnischen Klangfiguren thut. Auf der kreisrunden Platte, die am Blasebalge befestigt war, sammelte sich der Sand am Rande und um die Öffnung, zu welcher der Luftstrom heraustrat, concentrisch mit dem Umfange der Platte in einem kleinen Kreise. Auf der gegenüberliegenden Platte dagegen häufte sich der Sand concentrisch um den Punkt, auf welchen der Strom gerichtet war. Dies scheint das Dasein zweier Ströme zu erweisen, von denen der eine durch die fortgeblasene Luft, der andere aber durch die äußere, zwischen die Platten dringende, Luft hervorgebracht ward. Recht sichtbar wurde diese Bewegung, als einige Flaumfedern zwischen die Platten gebracht wurden. Sogleich bildete sich um den Strom und parallel den Flächen eine Art von Krone, welche eine sehr rasche drehende Bewegung annahm, wodurch die Federn nach einigen Augenblicken in sehr feine Fäden aufgerollt wurden. Dieselben Erscheinungen lassen sich auch nach Quetelet, jedoch viel undeutlicher, mit einer einzigen Platte hervorbringen.

### Über den Ausfluß elastischer Flüssigkeiten aus Reservoirs und Röhren, von Navier *).

Navier hat die Gesetze des Ausflusses elastischer Flüssigkeiten aus Reservoirs und Röhren einer neuen mathematischen Untersuchung unterworfen, deren Resultate, da sie in mehrfacher Hinsicht auch für die Praxis von großer Wichtigkeit sind, wir nachher mit den mathematischen Zeichen, die allein einen genauen Ausdruck derselben gestatten, und den als Belege derselben dienenden Versuchen näher mittheilen werden. Vorläufig mag es genügen, einige Sätze, die sich ohne großen Hülfsapparat von Zeichen ausdrücken lassen, daraus auszuziehen.

Sie gelten für die Voraussetzung, daß der Ausfluß unter einem constanten Druck geschieht, daß er gleichförmig geworden ist, und daß Einfluß der Schwere und der Reibung oder Adhäsion an den Gefäßwänden vernachlässigt werden, welches letztere im Fall langer Röhrenleitungen aller-

*) Mém. de l'Acad. 1830. T. IX. p. 311.

dings nicht mehr statthaft ist. (Für diesen letzten Fall habe ich einige Formeln, die öfters Anwendung finden können, unter 15), ebenfalls vorläufig, beigefügt.)

Die nachfolgenden Resultate sind ferner eigentlich unter der Voraussetzung des sogenannten **Parallelismus der Schichten** gefunden, und werden sich daher der Erfahrung um so mehr nähern, je weniger die Differenz der verschiedenen, auf die Richtung des Luftstroms senkrechten, Querschnitte der Gasleitung im Verhältniß zur Länge derselben beträgt.

1) Der, von der Zusammenziehung des Strals abhängige, Correctionscoefficient für das Ausflußquantum von Gas durch eine Mündung, welche in einer ebenen Wand gebrochen worden ist, zeigt sich, durch Berechnung von **Lagerhielm's** Versuchen, unabhängig sowohl von der Größe der Ausflußöffnung, die von 0,041 bis 0,112 Fuß variirt wurde, als von der Höhe des Überschusses des innern über den äußern Druck, der von 0,19 bis 1,6 Fuß Wasserhöhe variirt ward, und zwar fand er sich im Mittel von 12 nahe übereinstimmenden Versuchen, die unter verschiedenen Umständen angestellt waren, = 0,6149; mithin merklich von gleichem Werthe mit dem Coefficienten, der sich aus anderweiten Versuchen für das Wasser ergeben hat.

2) Zum Statthaben eines gleichförmigen Ausflusses, bei welchem die Querschnitte des Reservoirs oder der Gasleitung bis zur Mündung von dem ausströmenden Gase wirklich erfüllt werden, ist nöthig, daß das Product der Area der Ausflußmündung in den äußern Druck *) kleiner sei, als das Product der Area des Anfangs der Gasleitung **) in den daselbst Statt findenden innern Druck, und daß überdies, wenn irgendwo im Gefäße eine Einschnürung vorhanden ist, diese einen gewissen Grad nicht überschreite, widrigenfalls die Einschnürung sich als Mündung verhalten würde.

3) Unter verschiedenen, nachher zu detaillirenden Verhältnissen kann es sich treffen, daß Druck und hiemit zugleich Geschwindigkeit des Gases an gewissen Stellen der Gasleitung einen plötzlichen Sprung erfahren, so daß vor einer solchen Stelle beide einen namhaft andern Werth haben als unmittelbar nach ihr.

4) Wenn der Querschnitt einer Röhrenleitung sich verschiedentlich erweitert oder verengert, so wird in allen Querschnitten von gleicher Größe der Druck der nämliche sein, mögen sie nun näher oder entfernter von der Mündung liegen, vorausgesetzt, daß nicht irgendwo ein Sprung in dem Druck Statt finde, in welchem Falle in den Querschnitten, welche nach der Stelle folgen, wo der Sprung eintritt, ein anderer Werth des Druckes Statt findet, als in den Querschnitten gleicher Größe, die vor der Stelle des Sprunges liegen.

*) Der Druck wird hier und im Folgenden stets auf die Einheit der Oberfläche bezogen.

**) Des ersten Querschnitts des Reservoirs.

5) Bei dem Ausströmen der Gasart durch ein Rohr oder Reservoir sind wesentlich zwei Fälle zu unterscheiden, welche verschiedene Wirkungen mit sich führen; und die wir durch die Benennungen erster Fall und zweiter Fall unterscheiden wollen. Der erste Fall findet dann statt, wenn der Druck im ersten Querschnitt der Gasleitung (innerer Druck) *) und die Area dieses Querschnitts ein gewisses Verhältniß zu dem äußern Druck **) und der Area der Ausflußmündung nicht überschreiten. Der zweite Fall findet dann Statt, wenn dies Verhältniß überschritten wird; also im Allgemeinen bei großer Differenz zwischen dem äußern und innern Druck und Eintritts- und Ausflußmündung der Gasart. Die genaue Unterscheidung beider Fälle wird durch eine unten stehende Formel gegeben ***).

6) Im Fall eine Gasart durch ein Rohr oder Reservoir ausströmt, dessen Querschnitte vom Anfange bis zur Mündung successiv durch allmählige übergänge abnehmen, wie in Fig. 25; so nimmt jedenfalls der Druck vom Anfange des Reservoirs bis zur Mündung ebenfalls fortschreitend ab; hinsichtlich des Drucks an der Mündung CD selbst aber ist der erste vom zweiten Falle zu unterscheiden. Im ersten Falle kommt der Druck mit Annäherung an die Mündung allmählig bis zum äußern oder atmosphärischen herab, im zweiten Falle springt er in der Mündung selbst plötzlich auf diesen Druck von einem höhern über.

7) Wenn von einer Einschnürung ****) an das Reservoir oder die Röhre sich fortgehends erweitert, wie in Fig. 28, so wird im ersten Falle der Druck von AB bis EF continuirlich ab- und von EF bis CD continuirlich wieder zunehmen, auf solche Art, daß in EF selbst der Druck

*) Der innere Druck ist also der zu Anfange des Reservoirs Statt findende, welcher zunächst den Ausfluß veranlaßt, und gewöhnlich durch Wasser- oder Quecksilberdruck erzeugt und repräsentirt wird. Sind alle, auf den Gasstrom senkrechte, Querschnitte eines Reservoirs einander gleich, so ist auch der Druck in allen der nämliche, und man kann dann eben so gut den Druck im letzten Querschnitte (an den sich das Rohr anfügt) oder in beliebigen Querschnitten des Reservoirs für den innern Druck annehmen.

**) d. i. dem Druck, den das Mittel, in welches das Gas ausströmt, an der Mündung selbst äußert.

***) Es sei P der innere, P′ der äußere Druck, beide auf die Flächeneinheit bezogen, $\Omega$ die Area des ersten Querschnitts der gesammten Gasleitung, $\Omega'$ die Area des letzten Querschnitts oder der Ausflußmündung; dann hat man:

den ersten Fall, wenn

$$\frac{P^2\,\Omega^2}{P'^2\,\Omega'^2}\ \text{log. nat.}\ \frac{P}{P'} < \frac{1}{2}$$

den zweiten Fall, wenn

$$\frac{P^2\,\Omega^2}{P'^2\,\Omega'^2}\ \text{log nat.}\ \frac{P}{P'} > \frac{1}{2}$$

****) Diese nicht so eng vorausgesetzt, daß der unter 2) bemerkte Umstand einträte.

kleiner als der äußere Druck ist. Im zweiten Falle dagegen wird der Druck zwar auch von A B bis E F abnehmen, aber in E F noch einen höhern Werth als der äußere Druck haben. In E F selbst wird er plötzlich von dem höhern Druck zu einem tiefern Druck herabspringen, der aber auch jetzt noch größer als der äußere Druck ist. Von E F bis C D aber wird dann der Druck fortgehends abnehmen, bis er in C D selbst dem äußern Drucke gleich wird.

8) Findet eine bauchige Erweiterung des Reservoirs oder der Röhre, wie in Fig. 29 Statt, d. h. zieht sich nach erfolgter Zusammmenziehung in E F (wo der Querschnitt kleiner als in C D angenommen wird) *) und wieder erfolgter Ausdehnung in G H der Querschnitt des Reservoirs abermals bis zur Ausmündung in C D zusammen, so wird im ersten Falle der Druck continuirlich mit dem Querschnitte zunehmen und abnehmen, so daß er in C D kleiner, in G H größer wird als der äußere Druck, wofern G H selbst größer als C D. Im zweiten Falle dagegen wird wiederum ein Sprung des Drucks in E F erfolgen, doch so, daß auch nach dem Sprunge der Druck in E F noch größer als der äußere Druck ist in allen den Querschnitten, die kleiner als C D sind; dagegen wird der Druck in allen Querschnitten des Raumes E G C D H F, welche größer als C D sind, einen kleinern Werth als der äußere Druck erlangen.

9) Wenn sich ein cylindrisches Rohr E F C D in die ebene Wand A B eines Reservoirs mittelst einer Art Mundstück, wie in Fig. 32, einfügt, so daß alle Gasstralen, welche zum ersten Querschnitt E F dieses Rohrs gelangen, mit der Axe M N parallel gerichtet sind, mithin keine Zusammenziehung des Strals Statt findet, so nimmt der Druck im Mundstück vom Querschnitt A B bis zum Querschnitt E F ab und ist in der cylindrischen Röhre selbst constant **). Hiebei aber unterscheidet sich wieder der erste Fall vom zweiten in folgender Art: Im ersten Falle kommt der Druck im Übergange vom Querschnitte A B zum Querschnitte E F allmählig zum äußern Druck herab, der dann bis C D fortbesteht; im zweiten Falle dagegen kommt der Druck von A B bis E F bloß zu einem Druck herab, der in E F noch höher als der äußere ist; dann besteht dieser höhere Druck von E F an unverändert bis C D und springt dort plötzlich auf den äußern Druck über.

10) Wenn sich ein cylindrisches Rohr E F C D nicht wie in Fig. 32 mittelst eines Mundstücks in das Reservoir einfügt, sondern wie in Fig. 33 unmittelbar in senkrechter Richtung in die ebene Wand des Reservoirs eingefügt ist, so daß der in das Rohr eintretende Gasstral eine Zusammenziehung des Strals in e f erleidet; wenn man überdies annimmt, daß die

*) Doch wird auch hier diese Zusammenziehung nicht so eng angenommen, daß der unter 2) bemerkte Erfolg einträte.

**) Vorausgesetzt immer, daß die Röhre kurz genug ist, um den verzögernden Einfluß der Gefäßwand außer Acht lassen zu können; widrigenfalls nimmt der Druck vom Anfange nach dem Ende der Röhrenleitung zu ab.

Area C D der Ausflußmündung sehr klein im Verhältniß zur Area A B des Reservoirs (von constantem Querschnitt) ist, und daß der innere Druck sehr wenig den äußern übertrifft, so finden folgende Verhältnisse Statt:

Der Druck nimmt von E F bis e f ab; so daß er in e f selbst kleiner als der äußere Druck wird, und zwar beträgt die Differenz des Drucks in e f vom äußern Druck ziemlich $\frac{9}{10}$ der Differenz zwischen dem äußern und innern Druck *). Unmittelbar nach e f aber springt der Druck, indem sich der Gasstral plötzlich wieder in den ganzen Querschnitt des Rohrs ausbreitet, auf den äußern Druck selbst über, der dann bis C D fortbesteht.

11) Man kann dadurch, daß man in einem Reservoir eine Querscheidewand anbringt, in der sich eine Öffnung befindet, die Ausflußgeschwindigkeit aus der Mündung des Reservoirs beliebig verkleinern, indem man die Öffnung der Querscheidewand, durch welche die Flüssigkeit durchgehen muß, um zur Mündung zu gelangen, immer mehr im Verhältniß zur Mündungsöffnung verkleinert.

12) Ist die Ausflußmündung C D (Fig. 30) eines Reservoirs sehr klein gegen die Eintrittsmündung A B, und die Öffnung E F der Querscheidewand **) zugleich sehr klein gegen den Querschnitt G H des Reservoirs, welcher die Ebene der Öffnung in der Querscheidewand enthält, so ändert sich der Druck des Gases bei seinem unmittelbaren Übergange vom Querschnitte E F in den Querschnitt G H um keine merkliche Quantität. Ferner ist dieser Druck in E F oder G H dann stets größer als der äußere Druck bei C D, und wird dem letztern nur dann merklich gleich, wenn die Area des Querschnitts E F ausnehmend klein gegen die Area der Ausflußmündung C D wird.

13) Für den Fall, daß der Überschuß des innern Drucks über den äußern nicht groß, und daß die Area der Mündung C D (Fig. 30) so wie die Area der Öffnung E F der Querscheidewand sehr klein gegen die Area des ersten Querschnitts A B des Gefäßes, beide aber einander gleich, sind, so ist der Druck in E F das arithmetische Mittel zwischen den Druckkräften, welche in den äußersten Querschnitten A B, C D Statt finden; und das Ausflußquantum, welches in einer gewissen Zeit durch C D Statt hat, steht zu dem, welches ohne Gegenwart der Querscheidewand Statt haben würde, sehr nahe im Verhältniß von $1 : \sqrt{2}$.

14) Im Fall das Gas aus einem Reservoir ausströmt, dessen Mündung so klein im Verhältniß zum ersten Querschnitt des Reservoirs ist ***),

*) d. h. wenn B der Druck im Querschnitt e f ist, so hat man

$$B = P' - 0{,}89\,(P - P')$$

**) Gienge der Öffnung E F nicht wie in Fig. 30 ein Mundstück voraus, welches eine Zusammenziehung des Strals verhindert, sondern wäre die Öffnung E F in eine ebene Scheidewand gebrochen, wie in Fig. 31, so wäre Statt der Area der Öffnung E F im obigen Satze die Area des Querschnitts des zusammengezogenen Strals e f zu setzen. So auch im folgenden Satze.

***) Oder zum Querschnitt des Reservoirs überhaupt, wenn dies von constantem Querschnitt ist.

daß man die Größe $\frac{P'^2 \, \Omega'^2}{P^2 \, \Omega^2}$ gegen 1 vernachlässigen kann, so wird, vorausgesetzt, daß keine sehr starke Einschnürung oder durchbohrte Scheidewand im Reservoir Statt finde, das Gasvolumen V (gemessen unter dem im Reservoir Statt findenden Druck) was in der Zeiteinheit ausfließt, durch folgende Formel bestimmt:

$$V = \frac{P' \, \Omega'}{P} \sqrt{2 \, k \, \log. \, nat. \, \frac{P}{P'}}$$

wo P, P', $\Omega'$ die S. 133 Anm. angegebene Bedeutung haben; k aber den, von Beschaffenheit und Temperatur des Gases abhängigen constanten Coefficienten bezeichnet, welcher das Verhältniß des Drucks zur Masse der Volumeneinheit des Gases ausdrückt *).

Bei voriger Formel ist vorausgesetzt, daß der Ausfluß durch eine solche Ausmündung geschehe, daß die ausfließenden Stralen senkrecht auf die Ausflußmündung blieben; mithin eine Art Mundstück an das Reservoir gesetzt ist, das sich wie in Fig. 32 an das Reservoir anschließt **). Wäre die Mündung unmittelbar in eine ebene Wand des Reservoirs gebrochen, so würde man das richtige Ausflußquantum erhalten, wenn man das sich nach obiger Formel ergebende Product noch mit 0,6149 oder 0,62 multiplicirte.

Die von Bernouilli für den in Rede stehenden Fall gegebene Formel (s. S. 137) stimmt bloß in dem Falle, wenn der Überschuß des innern Drucks über den äußern ein sehr kleines Verhältniß zu diesen Druckkräften selbst hat, nahe mit der vorigen Formel überein, sonst giebt die Bernouillische Formel ein zu großes Ausflußquantum.

15) Wenn der Ausfluß des Gases durch eine im Verhältniß zu ihrem Durchmesser sehr lange cylindrische Leitungsröhre vom Durchmesser D geschieht, welche einen sehr kleinen Querschnitt im Verhältniß zum Querschnitt des Reservoirs hat, in welches sie sich einfügt, und die sich bei ihrer Mündung nicht zusammenzieht, sondern wie in Fig. 33 öffnet; wenn überdies der Überschuß des innern über den äußern Druck sehr klein ist, so kann das Gasvolumen V, was (unter dem im Reservoir Statt findenden

*) Es ist derselbe Coefficient, dessen numerischer Werth schon S. 87 angegeben worden ist. Navier berechnet ihn nach etwas andern Datis zu 77805 Meter bei 0° C.

**) Für den Fall, wo eine cylindrische Röhre sich gleich senkrecht in das Reservoir einfügt, wie in Fig. 33, gilt eine andere Formel. Man findet jedoch, wofern der Überschuß des innern über den äußern Druck sehr klein im Verhältniß zu diesen Druckkräften ist, auch für diesen Fall durch obige Formeln das richtige Ausflußquantum, wofern man den darin gegebenen Ausdruck mit folgendem multiplicirt:

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{1}{0{,}62 \left(1 - 0{,}89 \frac{P - P'}{P'}\right)} - 1 \right)^2}}$$

Druck gemessen) in der Zeiteinheit ausfließt *), durch folgende Formel **) ausgedrückt werden:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \frac{P'}{P} \sqrt{\frac{k D}{4 \beta \lambda} \frac{P-P'}{P'}}$$

wo D den Durchmesser der Röhre, $\lambda$ die Länge derselben, $\pi$ die Zahl 3,14159, $\beta$ einen von der Beschaffenheit der Gasarten und dem Durchmesser der Röhre unabhängigen ***) Coefficient bedeutet, welcher (den Meter und die Sexagesimalsecunde als Einheiten angenommen) = 0,00324 gefunden ward.

Verengerte sich die (übrigens ganz offene) Mündung der Röhre zum Durchmesser D′ (Fig. 35), so würde statt der vorigen Formel folgende ****) gelten:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \frac{P'}{P} \sqrt{\frac{2 k D D'^4}{8 D'^4 \beta \lambda + D^5} \frac{P-P'}{P'}}$$

und wäre die Mündung vom Durchmesser D′ in eine, die Röhre an ihrem Ende verschließende, ebene Wand gebrochen, so hätte man in der letzten Formel für $D'^4$ zu substituiren 0,6149 $D'^4$, wo dann letztere Formel gelten würde, gleichviel, ob sich die Röhre gegen das Ende verengert hätte oder nicht.

Formeln, welche bisher für gültig in Bezug auf den Ausfluß elastischer Flüssigkeiten angesehen worden sind. Ich theile diese bekannten Formeln hier nur zur Vergleichung mit den folgenden, die man nach Navier zur genauern Darstellung der Erscheinungen ihnen zu substituiren hat, mit.

1) Für den Fall, wo eine elastische Flüssigkeit durch eine sehr kleine Öffnung aus einem Gefäße in das andere strömt, hat man, unter der Voraussetzung, daß die Flüssigkeit im Innern des Gefäßes in Ruhe ist, daß der Druck in der ganzen Ausdehnung des Gefäßes constant ist, und daß die Theilchen, welche aus der Mündung hervortreten, die Geschwindigkeit annehmen, welche vom Überschuß des innern Drucks über den äußern abhängt, bisher immer folgende, von Bernouilli gegebene, Formel gebraucht:

$$U = \sqrt{\frac{2 (P-P')}{R}} \text{ oder } U = \sqrt{2 g \frac{P-P'}{R g}}$$

Hierin ist:

U die Geschwindigkeit der Flüssigkeit beim Durchgange durch die Mündung;

*) Gleichviel ob sich die Röhre wie in Figur 32 oder wie in Fig. 33 in das Reservoir einmündet.

**) Die Formel (43).

***) Da bei den später anzuführenden Versuchen nicht mitgetheilt ist, von welcher Materie die angewandten Röhren waren, so erhellt nicht, ob $\beta$ auch unabhängig von Materie der Röhren ist.

****) Welche sich leicht aus (46) im Folgenden unter Vernachlässigung von $D'^4 D \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2$ ergiebt.

P der Druck, welcher im Innern des Gefäßes Statt findet, in Gewichtseinheiten ausgedrückt und auf die Einheit der Oberfläche bezogen;
P' der Druck, welcher äußerlich Statt findet;
R die Dichtigkeit der Flüssigkeit, oder die Masse, welche die Einheit des Volumens unter dem Druck P hat;
g die Geschwindigkeit, welche die Schwere den Körpern in der Zeiteinheit einpflanzt.

2) Diese Formel wird, näher für den Fall bestimmt, wo die Flüssigkeit aus einem Gefäße, worin sie verdichtet worden ist, in die atmosphärische Luft austritt, zu folgender:

$$U = \sqrt{2 g \eta . \frac{\varpi}{\Pi}} . \sqrt{\frac{(1 + 0,00375 . \nu) H}{h + H}}$$

In dieser Formel ist:
h die Höhe der Säule einer beliebigen Flüssigkeit, welche den atmosphärischen Druck mißt.
H die Höhe einer Säule derselben Flüssigkeit, welche den Überschuß des Drucks, der innerhalb des Gefäßes Statt hat, über den atmosphärischen Druck mißt.
$\varpi$ das Gewicht der Einheit des Volumens dieser Flüssigkeit.
$\Pi$ das Gewicht der Einheit des Volumens der elastischen Flüssigkeit, welche ausfließt, von der Temperatur 0° C. angenommen, unter dem Druck, welcher durch eine Flüssigkeitssäule von der Höhe $\eta$ gemessen wird.
$\nu$ die wirkliche, am hunderttheiligen Thermometer beobachtete, Temperatur.
$\eta$ s. $\Pi$.

3) Für den Fall, wo die Sexagesimalsecunde als Zeiteinheit, der Meter als Längeneinheit, der Kilogramme als Gewichtseinheit genommen wird, wo die Druckkräfte durch Quecksilberhöhen gemessen werden, und das ausströmende Gas atmosphärische Luft ist, geht die vorstehende in folgende über:

$$U = 394,5. \sqrt{\frac{(1 + 0,00375 . \nu) H}{h + H}}$$

indem man g = 9,8088 Meter, $\varpi$ = 13568 Kilogr. annimmt, das Gewicht des Cubikmeters atmosphärischer Luft bei 0° C. unter 0,76 Meter barometrischem Druck = 1,3 Kil. setzt, mithin $\Pi$ = 1,3 Kil., $\eta$ = 0,76 Meter annimmt.

Letzterer Ausdruck, mit der Area der Mündung multiplicirt, wird das Volumen der atmosphärischen Luft geben, welches in der Zeiteinheit ausfließt, ein Volumen, das man als unter dem Druck P gemessen ansieht, welcher der Höhe h + H entspricht, d. i. welcher in dem Gefäße Statt findet, aus welchem die atmosphärische Luft ausfließt.

Übrigens gelten diese Formeln ohne Correction nur für die Voraussetzung, daß alle Stralen ausfließender Luft beim Hindurchgehen durch die Mündung senkrechte Richtungen auf die Ebene dieser Mün-

bung haben. In so fern dies aber nicht der Fall ist, muß man je nach Beschaffenheit der verschiedenen Figuren der Wand bei der Mündung ähnliche Correctionen anbringen, als im Fall des Ausflusses tropfbarer Flüssigkeiten Statt finden, Correctionen, die sich bloß aus der Erfahrung mit Sicherheit ableiten lassen.

Endlich ist der Einfluß der Reibung und der Adhäsion auf die Bewegung der Luft in obigen Formeln nicht berücksichtigt.

Navier bemerkt hinsichtlich der Gültigkeit der Voraussetzungen, auf welche sich die obigen Formeln stützen, und von welchen begreiflich ihre Anwendbarkeit auf die Erfahrung abhängt:

a) daß die Annahme einer Geschwindigkeit = Null und eines gleichförmigen Druckes im Innern des Gefäßes in der That nur für den Fall gültig sein kann, wo eine sehr kleine Mündung in der Wand eines großen Gefäßes geöffnet ist; dagegen wird sie sich von der Wirklichkeit zu weit in allen denjenigen Fällen entfernen, wo die elastische Flüssigkeit vor dem Anlangen an die Mündung eine Gefäß- oder Röhren-Portion zu durchlaufen hat, deren transversale Dimensionen nicht ausnehmend groß im Verhältniß zu denen der Mündung sind.

b) Scheint man sich auch sehr vom Falle der Natur zu entfernen, wenn man annimmt, daß die Gasschicht, welche durch die Mündung hindurchgeht, eine Dichtigkeit hat, welche dem oben durch P ausgedrückten Druck, der im Innern des Gefäßes Statt hat, entspricht; da doch unstreitig die elastische Flüssigkeit im Allgemeinen progressiv vom innern Drucke P zum äußern Drucke P′, und mithin auch von der Dichtigkeit, welche P entspricht, zur Dichtigkeit, welche P′ entspricht, übergehen wird.

**Formeln Navier's über den Ausfluß einer elastischen Flüssigkeit aus einem Gefäße oder einer Röhre.**

**Bedingungen.** Den nachstehenden Formeln liegen folgenden Voraussetzungen unter, für die sie ihre Gültigkeit haben:

1) Die Annahme des Parallelismus der Schichten *).

2) Gleichbleibender Druck und gleichbleibende Geschwindigkeit in jedem Theile des Gefäßes **).

*) Diese besteht bekanntlich darin, daß die, auf die Ausströmungsrichtung senkrechten, Geschwindigkeiten sehr klein in Verhältniß zu den in jener Richtung geschehenden Geschwindigkeiten sind, welche letztere zugleich merklich gleich für alle Theilchen einer und derselben auf die Ausflußrichtung senkrechten Schicht angenommen werden. Diese Annahme hat im Allgemeinen ihre Gültigkeit, wenn die Flüssigkeit aus einem Gefäße ausströmt, welches sich wenig von der cylindrischen Form entfernt, oder worin die Länge der strömenden Flüssigkeit sehr groß im Verhältniß zur Breitedifferenz der Schichten ist. (Méc. par Poisson, II. p. 445.)

**) Diese Bedingung wird dadurch erfüllt, daß entweder aus einer constanten Quelle stets so viel Gas in das Reservoir wieder nachströmt, als durch die Mündung ausfließt, oder dadurch, daß die Capacität des Reservoirs in demselben Maße verkleinert wird, als die Quantität des Gases durch das Ausströmen sich mindert. Allerdings ist auch unter diesen Umständen im ersten Augenblicke

3) Vernachlässigter Einfluß der Schwere auf die Bewegung des Gases *).

4) Eine solche Gestalt der Ausflußmündung, daß alle Stralen des ausströmenden Gases in mit der Axe paralleler oder auf den Mündungsdurchschnitt senkrechter Richtung ausströmen **).

Ist letztere Bedingung nicht erfüllt, wie in dem Falle, wo die Öffnung durch eine ebene Wand gebrochen ist, so wird zwar die Geschwindigkeit sämmtlicher Gasstralen beim Durchgange durch die Mündung noch durch die nachfolgenden Formeln repräsentirt werden, nicht mehr aber das Ausflußquantum, wegen der bei den Gasarten eben sowohl als bei den tropfbaren Flüssigkeiten Statt findenden Zusammenziehung des Strals, und es würden die Formeln in diesem Bezuge hier, wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten, ihre genaue Anwendung vielmehr auf die Stelle der größten Zusammenziehung finden.

Um sie auf die Mündung selbst anzuwenden, wird man jedoch nur nöthig haben, sie durch einen gewissen fractionären Coefficienten m zu corrigiren, der durch Versuche (vergl. D) = 0,6149 gefunden worden ist.

5) Vernachlässigung der Temperaturveränderungen, die aus der Expansion und Contraction des Gases hervorgehen.

6) Bei den Formeln (1) bis (11) ist überdies die Voraussetzung gemacht, daß kein Sprung (plötzliche Veränderung) in der Geschwindigkeit oder dem Druck der Flüssigkeitsschichten in irgend einem Theile des Gefäßes Statt finde.

Die Umstände, wo ein solcher Sprung eintritt, sind namentlich die, wo eine plötzliche Veränderung in der Größe der Querschnitte des Gefäßes oder der Röhre, welche das Gas durchläuft, Statt finde, oder wo das Gas durch eine kleine Öffnung hindurchgehen muß, welche sich in einer Querscheidewand, die durch das Innere des Gefäßes hindurchgeht, befindet. Im Falle eines solchen Sprungs sind bis unmittelbar vor der Stelle, wo der Sprung eintritt, zwar noch die Formeln (1) bis (11) in so weit

die Geschwindigkeit null, und es bedarf einer kurzen endlichen Zeit, ehe sie stationär wird; von diesem Zeitpunkt an aber bleibt sie so, wenn sich die genannten Bedingungen fort erhalten.

*) Durch horizontale Lage der Axe des Ausflußgefäßes wird ein solcher Einfluß beseitigt.

**) Diese Bedingung läßt sich dadurch erfüllen, daß man die Mündung, anstatt sie in einer ebenen Wand anzubringen, wo die Stralen beim Austritt convergiren, und eine Zusammenziehung des Strals entstehen würde, entweder geradezu den Querschnitt einer cylindrischen Röhre bilden läßt (wie C D in Fig. 34), oder wo der Mündungsquerschnitt kleiner als der der übrigen Röhre sein soll, die Röhre allmählig in eine solche Gestalt (C D in Fig. 25, 29, 30, 31, 35) enden läßt, daß die Richtung des letzten Theils der Röhrenwandungen der Austrittsrichtung des Gases parallel bleibt. Eine Mündung dieser Art nennt der Verfasser Orifice évasé, im Gegensatz gegen eine, durch eine ebene Wand gebrochene. Da ich keinen entsprechenden deutschen Ausdruck dafür kenne, so werde ich den französischen beibehalten.

sie für Druck und Geschwindigkeit gelten, beizubehalten; für jene Stelle aber und von jener Stelle an sind Druck und Geschwindigkeit, so wie auch das Ausflußquantum durch die Mündung, durch (12) bis (19) auszudrücken.

§. I. Formeln in Bezug auf den Fall, wo die Reibung und Adhäsion des Gases an den Gefäßwänden vernachlässigt werden kann.

Vorläufige Übersicht dieser Formeln. Wenn man ein Gefäß vor sich hat, in welchem die Größe der Querschnitte sich continuirlich, nicht sprungweise ändert (wie Fig. 25), so hat man unter Voraussetzung der S. 139 ff. angeführten Bedingungen:

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit an der Ausflußmündung die Formel (1); zur Bestimmung des Ausflußquantums in der Zeiteinheit die Formeln (2) und (3), welche im Fall einer statthabenden Contraction des Gasstrals noch eine Multiplication mit m = 6149 erfordern.

Zur Bestimmung des in jedem Querschnitte des Gefäßes Statt findenden Drucks die Formeln (6) oder (8).

Diesen genannten Gleichungen lassen sich für den Fall, wo die Ausflußmündung sehr klein im Verhältniß zum Querschnitt des Gefäßes ist, respectiv die Formeln (4), (5) und (7) substituiren.

Wenn irgendwo im Gefäße, namentlich bei einer Statt findenden Einschnürung, oder bei einer mit einer Öffnung durchbrochenen ebenen Scheidewand, ein Sprung in Druck und Geschwindigkeit Statt findet, so können von dieser Stelle an die vorigen Formeln nicht gebraucht werden, sondern es tritt von hier an die Stelle von (1) die Formel (12), an die Stelle von (7) die Formel (14) mit Berücksichtigung dessen, was unter G beigebracht ist.

Die Formeln (1) bis (3) würden unendliche oder imaginäre Resultate geben, wenn man hätte

$$P' \Omega' = \text{oder} > P \Omega,$$

woraus erhellt, daß das Statthaben eines gleichförmigen Ausflusses, wie er hier vorausgesetzt wird, wesentlich erfordert, daß die Area $\Omega'$ des letzten Querschnitts $< \frac{P \Omega}{P'}$ *), oder daß das Product des ersten Querschnitts in den daselbst Statt findenden Druck größer als das analoge Product für den letzten Querschnitt sei.

*) Diese Bedingung ist analog dem, was bei den incompressiblen Flüssigkeiten Statt hat, wo das Statthaben eines gleichförmigen Ausflusses voraussetzt, daß der untere Querschnitt, durch welchen die Flüssigkeit aus dem Gefäße tritt, geringer sei, als der obere Querschnitt, durch welchen die Flüssigkeit in dies Gefäß eintritt. Wäre der äußerste Querschnitt $\Omega'$ so groß, daß der in Rede stehenden Bedingung nicht genügt würde, so würde die Flüssigkeit aus dem Reservoir hervortreten, ohne diesen Querschnitt ganz zu erfüllen und die Umstände der Bewegung würden nicht mehr durch vorstehenden Formeln repräsentirt werden.

Die Formel (5) stimmt bloß in dem Falle, wo P sehr wenig größer als P′ ist, d. h. wo der Unterschied des innern und äußern Drucks ein sehr kleines Verhältniß zu diesen Druckkräften hat, nahe mit der S. 137 gegebenen Formel überein *). Findet dieser Umstand nicht Statt, so giebt die Formel S. 137 einen zu großen Werth für U.

Detail der Formeln.

A) Es sei ein Gefäß ABCD (Fig. 25) gegeben, in welchem die Größe der successiven Querschnitte nur durch unendlich kleine Differenzen sich ändert, und das man als Verlängerung des in AC angefügten Gasometers betrachten kann. CD bildet die Ausströmungsmündung; AC wird als der erste Durchschnitt des Gefäßes oder der Röhre betrachtet, durch welche der Ausfluß geschieht.

Es heiße

$\Omega$ die Area des Querschnitts AB.

$\Omega'$ die Area der Ausflußmündung CD.

$\omega$ die Area eines beliebigen, zwischen beiden vorigen liegenden, Querschnitts $\alpha\beta$, welcher in dem Gefäße senkrecht auf die Axe MN gemacht worden ist.

U die Geschwindigkeit der Gasschicht, welche durch den Querschnitt CD hindurchgeht.

V das Volumen des Gases, welches in der Zeiteinheit ausfließt.

P, P′, p die Druckkräfte, welche respectiv in den Querschnitten AB, CD und $\alpha\beta$ Statt haben.

$\varrho$ die Masse der Einheit des Volumens oder die Dichtigkeit des Gases, welche im Querschnitt $\alpha\beta$ Statt hat.

k der constante Coefficient, welcher das Verhältniß des Drucks zur Masse der Volumeneinheit der Luft ausdrückt, und welcher für 0° C. und metrisches Maß zu 77805 von Navier angenommen wird **).

Die nachgehends vorkommenden Logarithmen sind stets natürliche, wo nichts besonders angemerkt ist.

*) Es ist nämlich dann mit ziemlicher Annäherung

$$\log. \frac{P}{P'} = \frac{P - P'}{P'}$$

$$\text{weil } \frac{P}{P'} = 1 + \frac{P - P'}{P'}$$

und nach der bekannten Formel

$$\log. (1 + Z) = Z - \frac{Z^2}{2} + \frac{Z^3}{3} - \frac{Z^4}{4}$$

Es wird hier das Quadrat und die höhern Potenzen von $Z = \frac{P - P'}{P'}$ vernachlässigt.

**) Vergl. darüber S. 86.

Nach diesen Bestimmungen findet man *)

$$U = \sqrt{\frac{2\,k\,\log.\frac{P}{P'}}{1 - \frac{P'^2\,\Omega'^2}{P^2\,\Omega^2}}} \qquad (1)$$

und

$$V = U\,\Omega' \qquad (2)$$

in der Voraussetzung, daß das Volumen unter dem Drucke $P'$ steht, der im Durchschnitt $C\,D$ Statt findet, oder

$$V = \frac{P'\,\Omega'\,U}{P} \qquad (3)$$

unter der gewöhnlichern Voraussetzung, daß es unter dem, im Gasometer Statt findenden, Druck $P$ steht.

*) Um den Gang der Herleitung dieser Formel aus den Grundgleichungen der Bewegung kurz anzugeben, so hat man, wenn $x$ der Abstand $M\mu$ des Querschnitts $\alpha\,\beta$ vom Querschnitt $A\,B$, $u$ die Geschwindigkeit der in $\alpha\,\beta$ befindlichen Flüssigkeitsschicht, und $d\,t$ das Zeitelement ist, für die Bewegungsgleichung der beliebigen Schicht $\alpha\,\beta$ folgende:

$$-\,\omega\,d\,p = \varrho\,\omega\,d\,x\,\frac{d\,u}{d\,t} \qquad (\alpha)$$

welche sich nach der Betrachtung ergiebt, daß die Masse dieser Schicht $= \varrho\,\omega\,d\,x$, daß die Kraft, welche ihre Bewegung bewirkt $= \varrho\,\omega\,d\,x\,\frac{d\,u}{d\,t}$ ist, und daß die Kraft, der sie vermöge der wechselseitigen Wirkungen der Schichten unterliegt $= -\,\omega\,d\,p$ ist. Da $p = k\,\varrho$, so verwandelt sich die vorige Formel in:

$$-\,k\,\frac{d\,p}{p} = d\,x\,\frac{d\,u}{d\,t} \qquad (\beta)$$

Nun hat man nach der Voraussetzung, daß die Bewegung der Flüssigkeit gleichförmig ist, mithin dieselbe Masse in derselben Zeit durch alle Querschnitte hindurchgehen muß, $p\,\omega\,u = P'\,\Omega'\,U$; daher

$$u = \frac{P'\,\Omega'\,U}{p\,\omega}\text{; und } \frac{d\,u}{d\,t} = -\,\frac{P\,\Omega'\,U}{p^2\,\omega^2} \cdot \frac{d\,(p\,\omega)}{d\,x} \cdot \frac{d\,x}{d\,t} \qquad (\gamma)$$

weil $U$ constant ist und bloß $p$ und $\omega$ sich vermöge der Lagenveränderung der Schicht ändern. Durch Substitution dieses Werths in die Gleichung ($\beta$), worin man $u$ oder $\frac{P'\,\Omega'\,U}{p\,\omega}$ statt $\frac{d\,x}{d\,t}$ setzt, findet man nun $k\,\frac{d\,p}{p} = P'\,\Omega'^2\,U^2\,\frac{d\,(p\,\omega)}{p^3\,\omega^3}$ welche durch Integration giebt:

$$2\,k\,\log.\,p = \frac{-\,U^2\,P'^2\,\Omega'^2}{p^2\,\omega^2} + \text{Const.} \qquad (\delta)$$

Die Constante bestimmt sich danach, daß man im ersten Durchschnit $A\,B$ hat $\omega = \Omega$, $p = P$, welches giebt:

$$2\,k\,\log.\,\frac{P}{p} = U^2\left(\frac{P'^2\,\Omega'^2}{p^2\,\omega^2} - \frac{P'^2\,\Omega'^2}{P^2\,\Omega^2}\right) \qquad (\varepsilon)$$

und da man im letzten Durchschnitt $C\,D$ hat $\omega = \Omega^2$, $p = P'$, so wird diese Gleichung zu folgender:

$$2\,k\,\log.\,\frac{P}{P'} = U^2\left(1 - \frac{P'^2\,\Omega'^2}{P^2\,\Omega^2}\right) \qquad (\zeta)$$

woraus sich dann Gleichung (1) ergiebt.

B) In dem Fall, wo die Ausflußmündung C D sehr klein im Verhältniß zum Querschnitt A B des Gasometers ist, geht die Formel (1) in folgende über

$$U = \sqrt{2\, k \log. \frac{P}{P'}} \quad (4)$$

und die Formel (3) in folgende:

$$V = \frac{P' \, \Omega' \, U}{P} \quad (5)$$

C) Um den Druck p zu bestimmen, der in einem gegebenen Durchschnitt der Röhre, dessen Area durch $\omega$ repräsentirt wird, Statt findet, hat man folgende Formel

$$\frac{\log. \frac{P}{p}}{\log. \frac{P}{P'}} = \frac{\frac{P^2\, \Omega^2}{p^2\, \omega^2} - 1}{\frac{P^2\, \Omega^2}{P'^2\, \Omega'^2} - 1} \quad (6)$$

(welche sich durch Substitution des Werths von U (Formel 1) in die Formel (ε) ergiebt.)

In dem Falle, wo die Ausflußmündung C D sehr klein im Verhältniß zum Querschnitt A B des Gasometers ist, geht die vorige Gleichung in folgende über:

$$\frac{\log. \frac{P}{p}}{\log. \frac{P}{P'}} = \frac{\frac{P^2\, \Omega^2}{p^2\, \omega^2} - 1}{\frac{P^2\, \Omega^2}{P'^2\, \Omega'^2}} \quad (7)$$

Die Gleichung (6), in Bezug zu $\omega^2$ aufgelöst, wird zu folgender:

$$\omega^2 = \frac{P^2\, \Omega^2}{p^2} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{P^2\, \Omega^2}{P'^2\, \Omega'^2} - 1\right) \frac{\log. \frac{P}{p}}{\log. \frac{P}{P'}}} \quad (8)$$

Aus der Gleichung (8) leitet Navier die Bestimmungen ab, die sich für die, den verschiedenen Querschnitten $\omega$ entsprechenden, Druckkräfte p ergeben, indem er danach eine Curve construirt, von welcher p die Abscisse und $\omega$ die Ordinate ist.

Man findet leicht, daß diese Curve, in welcher die Ordinaten $\Omega$ und $\Omega'$ den, von o an gerechneten, Abscissen P und P' entsprechen, die in Fig. 26 und 27 angegebene Form hat. Die Ordinate, welche dem Werthe p = o entspricht, ist unendlich; diese Ordinate nimmt dann immer kleinere Werthe an, bis zu einem Punkte des Minimums, dessen Abscisse kleiner (Fig. 26) oder größer als P' (Fig. 27) sein kann. Die Ordinate wächst alsdann, und wird von Neuem unendlich, wenn man p einen

Werth o Q giebt, der größer als P ist und so beschaffen, daß die Quantität

$$\left(\frac{P^2\ \Omega^2}{P'^2\ \Omega'^2}-1\right)\frac{\log.\ \frac{P}{p}}{\log.\ \frac{P}{P'}}$$

gleich — 1 wird, so daß die Parallele, welche mit der Axe der $\omega$ durch den Punkt Q gezogen wird, eine zweite Asymptote der Curve ist. Ist diese Curve construirt, so wird man den Druck p, der in einem gegebenen Querschnitt $\omega$ des Gefäßes Statt findet, finden, indem man eine Parallele mit der Axe o p in der Entfernung $\omega$ von dieser Axe zieht und den Werth der Abscisse des Durchschnittspunkts dieser Parallele mit der Curve nimmt.

Die Abscisse p für das Minimum von $\omega$ bestimmt sich durch folgende, nach den bekannten Regeln gefundene, Formel:

$$\log.\ \frac{P}{p}=\frac{1}{2}-\frac{\log.\ \frac{P}{P'}}{\frac{P^2\ \Omega^2}{P'^2\ \Omega'^2}-1} \qquad (9)$$

durch Substitution des Werths von p, den man solchergestalt erhält, in die Gleichung (8) wird man den Minimum-Werth von $\omega$, den wir mit $\omega_1$ bezeichnen, erhalten.

Die Verhältnisse, welche zwischen den Quantitäten P, P′, $\Omega$, $\Omega'$, existiren müssen, damit $\Omega'$ (der Querschnitt der Mündung) $=\omega_1$ werde, werden durch die Formel

$$\frac{P^2\ \Omega^2}{P'^2\ \Omega'^2}\cdot\log.\ \frac{P}{P'}=\frac{1}{2} \qquad (10)$$

gegeben, welche sich ergiebt, indem man in der Formel (9) $p = P'$ setzt.

Ist das erste Glied der Gleichung (10) $< \frac{1}{2}$, so wird man sich im Falle der Figur 26 finden, wo die der Ordinate $\omega_1$ entsprechende Abscisse $p_1 < P'$ ist. Ist dagegen das erste Glied dieser Gleichung $> \frac{1}{2}$, so wird man sich im Falle der Figur 27 finden, wo $p_1 > P'$.

Betrachten wir nun eine Röhre, wie die, welche in Fig. 25 vorgestellt ist, in welcher der Durchschnitt successiv von A B nach C D abnimmt. Wenn die Relationen zwischen P, P′, $\Omega$, $\Omega'$ so beschaffen sind, daß man sich im Falle der Fig. 26 befindet, so suche man die Druckkräfte, welche den verschiedenen Durchschnitten entsprechen, auf, indem man längs der Curve vom Punkte M zum Punkte M′ herabsteigt: wobei offenbar erhellt, daß der Druck eben so progressiv von dem Werthe P, welcher in A B Statt hat, zu dem Werthe P′, welcher in C D Statt hat, abnehmen wird. Ist man aber im Falle der Figur 27, so wird man, bevor man dahin gelangt, einen Punkt M″ antreffen, für welchen die Ordinate $\omega$ gleich $\Omega'$ sein wird, eben so wohl als die des Punkts M′, und deren

Abscisse $P'' > P'$ ist. Man muß also dann annehmen, daß der Druck, nachdem er sich progressiv von A B bis nach C D vermindert hat und dadurch vom Werthe P auf den Werth $P''$ gekommen ist, im Querschnitte C D selbst vom Werthe $P''$ zum Werthe $P'$, welcher auswendig Statt hat, übergeht.

Betrachten wir jetzt eine Röhre, wie die, welche in Fig. 28 vorgestellt ist, worin der Querschnitt progressiv von A B nach E F, wo er kleiner als die Ausflußmündung C D ist, abnimmt, dann wiederum progressiv von E F nach C D zunimmt. Zufolge dessen, was man oben gesehen hat, wenn man $\omega$ einen geringern Werth als $\omega$, beilegen wollte, so würde die Gleichung (6) oder (8) keinen entsprechenden Werth für p geben. Dies zeigt an, daß es nicht möglich ist, den Querschnitt E F der Einschnürung bis unter eine Gränze zu verkleinern, welche durch den Minimumwerth $\omega$, gegeben ist, wenn man will, daß die Umstände der Bewegung des Gases noch durch vorstehende Formeln repräsentirt werden. Für den Gegenfall zeigt der Umstand, daß diese Formeln dann kein Resultat geben, an, daß das Gas aus dem Gefäße austreten würde, ohne den äußersten Durchschnitt C D auszufüllen, welche Ausfüllung in den Formeln vorausgesetzt wird. Dann würde der Querschnitt E F zur Ausflußmündung werden. Gesetzt also, man habe dem kleinsten Querschnitt E F einen Werth gegeben, welcher zwischen $\Omega'$ und $\omega$, fällt: und es sei zuvörderst der Fall der Figur 26 vorhanden, so wird der Querschnitt E F auf der Curve einem Punkte m entsprechen, welcher zwischen $M'$ und dem Minimumpunkte liegt. Um sonach die Druckkräfte zu finden, welche den verschiedenen Querschnitten des Gefäßes entsprechen, steige man zuerst vom Punkte M zum Punkte m herab, dann wieder vom Punkte m zum Punkte $M'$ zurück; woburch sich ergiebt, daß der Druck im Querschnitt E F geringer ist, als der äußere Druck $P'$.

Setzt man jetzt den Fall der Figur 27 voraus, so wird man, um die, den verschiedenen Querschnitten entsprechenden, Druckkräfte zu finden, erst vom Punkte M zum Punkte m, welcher dem Querschnitt E F entspricht, herabsteigen, dann unmittelbar von diesem Punkte zum Punkte n übergehen, welcher dieselbe Ordinate, aber eine kleinere Abscisse hat, und endlich vom Punkte n zum Punkte $M'$, welcher dem äußersten Querschnitt entspricht. Es folgt daraus, daß in der Einschnürung E F der Druck hier den äußern Druck $P'$ übersteigt, daß aber dieser Druck hier plötzlich von dem Werthe, welcher durch die Abscisse des Punkts m gegeben ist, zu dem, durch die Abscisse des Punkts n gegebenen, Werthe überspringt. Wegen dieses Sprunges muß, zufolge Bedingung 6, von E F an Druck und Geschwindigkeit durch andere Formeln, als die vorstehenden, repräsentirt werden, nämlich durch die Formeln (12) und (14), in die man die durch die Formel (15) gegebenen Werthe von B und $B'$ substituirt (vergl. G).

Betrachten wir jetzt die durch Figur 29 vorgestellte Röhre, in welcher der Querschnitt progressiv von A B nach E F abnimmt, wo er kleiner

als die Ausflußmündung C D ist, dann von E F nach G H wächst, wo er größer als C D ist, endlich progressiv von G H nach C D wieder abnimmt. Es wird eben so wohl, als im vorigen Falle, erforderlich sein, daß der kleinste Querschnitt E F der Einschnürung nicht kleiner, als das Minimum $\omega$, sei. Diese Bedingung als erfüllt vorausgesetzt, so erhellt wie oben, daß, wenn man sich im Falle der Figur 26 befindet, der Druck in E F geringer, als der äußere Druck P′ sein wird, in G H aber größere Werthe, als dieser äußere Druck, wieder annehmen wird, und zwar Werthe, welche gleich denen sind, die er bei gleichem Querschnitt im Intervall A B F E darbot. Befindet man sich dagegen im Fall der Fig. 27, so wird der Druck in E F größer, als der äußere Druck P′ sein; nachdem er aber an diesem Orte eine plötzliche Veränderung erfahren hat (wofern nicht der Querschnitt E F genau gleich der Gränze $\omega$, ist), wird der innere Druck kleiner, als der äußere Druck P′ werden, in allen den Theilen des Raums E G C D H F, wo die Area der Querschnitte die des äußersten Querschnitts C D übertrifft.

D) Wenn die Bedingung 4 nicht erfüllt, sondern die Ausflußmündung durch eine ebene Wand gebrochen ist, so ist in der Formel (3) und den daraus abgeleiteten Formeln das zweite Glied mit m zu multipliciren, oder man hat

$$V = \frac{m\, P'\, \Omega'\, U}{P} \qquad (11)$$

die Größe von m ist durch Versuche zu bestimmen, indem man die nach der Formel (3) berechnete Ausflußmenge mit der in der Wirklichkeit Statt gefundenen vergleicht, wo der fractionäre Quotient beider m ergiebt.

Bestimmung der Größe m nach Formel 5 *). Unter den bekannten Versuchen scheinen die von Lagerhielm **) sich am meisten zu eignen, zu dieser Bestimmung zu führen. Folgende Tabelle ist nach den Resultaten dieser Versuche entworfen, welche mit kreisförmigen, in einer dünnen Kupferplatte befindlichen, Mündungen geschahen.

*) Die Größe U darin durch (4) ausgedrückt.

**) Sie sind in den Mémoires de l'academie in Stockholm bekannt gemacht; eine französische Übersetzung davon findet sich im Journal du génie civil. 7e livrais. 1829.

| Durchmesser der Mündung. | Drucküberschuß. | Barometerhöhe. | Temperatur der Luft. | Dauer des Ausflusses. | Volumen der ausgeflossenen Luft. | Werth von m. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fuße. | Fuße. | Fuße. | Centesimalgrade. | Sec. | Cubikfuße. | |
| 0,1122 | 1,616 | 2,515 | 16 | 4,5 | 7,5859 | 0,6097 |
| | 1,209 | | 17 | 5,25 | 8,8919 | 0,6972 |
| | 0,5555 | | 16 | 7,5 | 7,6547 | 0,6063 |
| | 0,1919 | | 18 | 13,25 | 8,086 | 0,6103 |
| 0,080617 | 1,616 | 2,305 | 17 | 9 | 8,0819 | 0,6013 |
| | 1,217 | | | 10,5 | 8,037 | 0,5804 |
| | 0,5555 | | 15 | 15 | 7,9251 | 0,5805 |
| | 0,2121 | 2,508 | 17,5 | 23,5 | 8,6635 | 0,6854 |
| 0,041346 | 1,6059 | 2,536 | 20 | 32 | 7,3881 | 0,6098 |
| | 1,212 | | 19,5 | 36,2 | 7,244 | 0,6029 |
| | 0,5555 | 2,540 | 10,5 | 51,2 | 6,8875 | 0,5933 |
| | 0,1969 | | | 82 | 6,6251 | 0,6018 |

Die Maße sind sämmtlich Schwedisches Maß.

Die zweite Columne, welche Drucküberschuß überschrieben ist, giebt die Höhe der Wassersäule an, welche den Überschuß des Drucks im Innern des Gefäßes, aus dem die Luft ausfloß, über den äußern Druck, der durch die Barometerhöhe gemessen wurde, maß. Zur Berechnung dieser Versuche muß man zuerst die mit k bezeichnete Quantität (S. 87 und 136) bestimmen, indem man den Schwedischen Fuß als Lineareinheit annimmt. Diese Größe ist nach S. 87:

$$k = g \varpi \eta \frac{(1 + 0{,}00375\ \nu.)}{\Pi}$$

Man findet in der Abhandlung von Lagerhjelm, daß die Geschwindigkeit, welche schweren Körpern in 1 Secunde eingepflanzt wird, und welche in Metern $9^m{,}809$ beträgt, in Schwedischen Fußen 33,068 Fuß ist; wonach (unter Vernachlässigung des Unterschiedes von g zwischen Schweden und Paris) die Barometerhöhe $0{,}76^m$, bei welcher der Cubikfuß Luft 1,3 Kil. bei 0° wiegt, gleich 2,562 Fuß ist. Setzt man also in vorstehender Formel $g = 33{,}068$, $\eta = 2{,}562$, $\varpi = 13568$, $\Pi = 1{,}3$, so findet man

$$k = 1149300 \frac{1 + 0{,}00375 . \nu}{1{,}3}$$

mittelst welchen Ausdrucks man leicht den jedem Versuche zukommenden Werth von k nach der beobachteten Temperatur bestimmen wird. Darauf wird man die in der zweiten Columne angeführten Wasserhöhen auf Quecksilberhöhen, nach dem Verhältniß der specifischen Gewichte beider Flüssigkeiten reduciren, und sie zu den, in der dritten Columne angeführten, Ba-

rometerhöhen addiren, um die Quecksilberhöhen zu erhalten, welche den innern Druck messen. Ein Beispiel der ganzen Berechnung ist unten angeführt *).

Die in der letzten Spalte der Tabelle angeführten Werthe von m zeigen Differenzen, welche bloß auf Irrthümern der Beobachtung zu beruhen scheinen. Ihr Mittel ist m = 0,6149; wonach es scheint, daß die Zusammenziehung der Luft ganz nach denselben Gesetzen, als die des Wassers von Statten geht.

Auch die Versuche von d'Aubuisson **) können hieher gezogen werden. Folgende Tabelle enhält die mittlern Resultate dieser Versuche.

| Durchmesser der Mündung. | Drucküberschuß. | | | Werth des Verhältnisses m. |
|---|---|---|---|---|
| Meter. | Meter. | | Meter. | |
| 0,01 | 0,0286 | bis | 0,144 | 0,63 |
| 0,015 | 0,028 | — | 0,122 | 0,652 |
| 0,02 | 0,027 | — | 0,06 | 0,646 |
| 0,03 | 0,027 | — | 0,05 | 0,673 |

Die zweite, Drucküberschuß überschriebene, Columne enthält die kleinsten und größten Höhen der Wassersäulen, welche den Überschuß des Drucks maßen, der im Gasometer über den äußeren Druck bei den 4, 5 und 6 Versuchen, die mit jeder Mündung angestellt wurden, Statt hatte, und welche als Mittelwerth den in der dritten Spalte beigesetzten Werth von m gaben. Diese Werthe sind so erhalten worden, daß das wirkliche Ausflußquantum durch dasjenige Quantum dividirt ward, welches sich durch Berechnung nach der Formel S. 138 ergeben würde, welche Formel im

*) Beispiel. Man hat für den ersten Versuch $k = \frac{1149300}{1,227}$. Der innere Druck ist $2,545 + \frac{1,616}{13,568} = 2,664$; mithin $\frac{P}{P'} = \frac{2,664}{2,545}$. Es ist ferner $\Omega' = \frac{\pi}{4}(0,1122)^2$.

Die Formel (5) muß, wenn man den Logarithmus der gewöhnlichen Tafeln nimmt, geschrieben werden:

$$\frac{P'\,\Omega'}{P}\sqrt{2\,k\,(2,30206)\log.\frac{P}{P'}}$$

Substituirt man in diese Formel die vorstehenden Werthe, so findet man für das Ausflußquantum, welches in 1 Secunde Statt haben würde, wenn die Öffnung evasirt wäre, 2,763 Cubikfuß. Da das wirklich Statt gehabte Ausflußquantum $\frac{7,5809}{4,5}$ ist, so ergiebt sich als Verhältniß beider Quanta

$$m = \frac{7,5809}{4,5 \times 2,763} = 0,6097.$$

**) Ann. des Mines, XIII. 1826.

Allgemeinen zu große Resultate giebt, die sich jedoch im Fall der hier in Rede stehenden Versuche ohne merklichen Irrthum anwenden lassen, wegen der geringen Differenz des inneren und äußeren Drucks.

Die hier für m erhaltenen Werthe übertreffen merklich den aus Lagerhielm's Versuchen abgeleiteten Werth. Doch verdienen des letztern Versuche vielleicht mehr Zutrauen, da sie meist unter viel größeren Druckkräften angestellt worden sind. Auch verdient Bemerkung, daß die Mündungen bei d'Aubuisson's Versuchen nicht unmittelbar in der Wand des Gasometers geöffnet waren, sondern in einer Platte, welche das Ende einer kleinen Röhre von $0^m,08$ Durchmesser und $0^m,027$ Länge, die in dieser Wand eingepflanzt war, bildete. Dieser Umstand muß die äußere Zusammenziehung vermindert haben, zu welchem Schluß man sich um so mehr aufgefodert sieht, da die Werthe von m von 0,63 bis 0,673 zunehmen, während zugleich der Durchmesser der Mündung von $0^m,01$ bis $0^m,03$ zunimmt; d. h. während zugleich der Unterschied zwischen dem Durchmesser der Mündung und dem des Röhrentheils, der eine Art Mundstück diesseits dieser Mündung bildet, abnimmt.

E) Wenn in irgend einem Theile des Gefäßes ein Sprung in dem Druck, welcher zugleich einen in der Geschwindigkeit voraussetzt, Statt findet, so gelten von dem Theile an, wo dies der Fall ist, die vorigen Formeln nicht mehr, sondern müssen durch andere ersetzt werden, die wir jetzt kennen lernen wollen. (Vergl. Bedingung 6.)

Gesetzt, es sei im Gefäß ABCD (Fig. 30) eine Querscheidewand befindlich, welche die Flüssigkeit nöthigt, in den Querschnitt EF zu treten, auf welchen unmittelbar der größere Querschnitt GH folgt. Es wird angenommen, vor dem Querschnitt EF gehe eine Art Mundstück voraus, so daß die Gasstralen zu diesem Querschnitt alle in Richtungen, welche mit der Axe parallel sind, anlangen, daß mithin die Bedingung (4) in Bezug auf diesen Querschnitt erfüllt sei. Unter Beibehaltung der übrigen, S. 142 angegebenen, Bezeichnungen hieße A die Area des Querschnittes EF.

A′ die Area des Querschnittes GH.

B der Werth des Druckes, welcher im Querschnitt EF Statt hat.

B′ der Werth des Druckes, der im Querschnitt GH Statt hat.

Unter diesen Voraussetzungen muß man von EF bis CD die Formel (1) durch folgende ersetzen:

$$U = \sqrt{\frac{2k \log. \frac{P}{P'}}{1 - \frac{P'^2 \, \Omega'^2}{P^2 \, \Omega^2} + \left(\frac{P' \, \Omega'}{B A} - \frac{P' \, \Omega'}{A' B'}\right)^2}} \qquad (12)$$

In dieser Formel werden B und B′ durch nachfolgende Formeln bestimmt:

$$\left.\begin{aligned}\frac{\log.\frac{P}{B}}{\log.\frac{P}{P'}} &= \frac{\frac{1}{B^2\,A^2}-\frac{1}{P^2\,\Omega^2}}{\frac{1}{P'^2\,\Omega'^2}-\frac{1}{P^2\,\Omega^2}+\left(\frac{1}{B\,A}-\frac{1}{B'\,A'}\right)^2}\\ \frac{\log.\frac{P}{B'}}{\log.\frac{P}{P'}} &= \frac{\frac{1}{B'^2\,A'^2}-\frac{1}{P^2\,\Omega^2}+\left(\frac{1}{B\,A}-\frac{1}{B'\,A'}\right)^2}{\frac{1}{P'^2\,\Omega'^2}-\frac{1}{P^2\,\Omega^2}+\left(\frac{1}{B\,A}-\frac{1}{B'\,A'}\right)^2}\end{aligned}\right\}\quad(13)$$

Um den Druck p in den verschiedenen Theilen des Gefäßes von GH bis CD zu bestimmen, gilt die Gleichung:

$$2k\log\frac{P}{p}=U^2\left[\frac{P'^2\,\Omega'^2}{p^2\,\omega^2}-\frac{P'^2\,\Omega'^2}{P^2\,\Omega^2}+\left(\frac{P'\,\Omega'}{B\,A}-\frac{P'\,\Omega'}{A'\,B'}\right)^2\right]\quad(14)$$

worin U, B und B′ durch die Formeln (12) und (13) bestimmt sind *).

*) Die Herleitung der Formeln (12) bis (14) geschieht, indem man die Aufgabe in Bezug auf den Ausfluß der Gasart nach dem Princip der Erhaltung der lebendigen Kräfte auflöst, und den Verlust an lebendiger Kraft, der bei plötzlicher Veränderung der Geschwindigkeit Statt findet, dabei in Rechnung zieht.

Nehmen wir zuvörderst wieder Fig. 25 vor, so ist die lebendige Kraft der in $\alpha\beta$ befindlichen Schicht nach Verlauf der Zeit $= \varrho\,\omega\,dx\,.\,u^2$; diese lebendige Kraft nimmt während dt um $\varrho\,\omega\,dx\,2u\,du$ zu und mithin ist

$$\int\varrho\,\omega\,dx\,.\,2u\,du$$

die Zunahme der lebendigen Kraft des Gases innerhalb der Zeit t, welches Integral vom Querschnitt AB bis zum Querschnitt CD oder von $x = o$ bis $x = MN$ genommen wird.

Andrerseits ist diese nämliche Schicht vermöge der wechselseitigen Wirkungen der Schichten der Kraft $\omega\,dp$ unterworfen, welche sie nach der, ihrer Bewegung entgegengesetzten, Richtung treibt. Der Raum, den sie in der Zeit dt durchläuft, ist u dt. Man hat mithin nach dem Princip der Erhaltung der lebendigen Kräfte (Méc. par Poisson II. 286. 290) $-2\int\omega\,dp\,.\,u\,dt = \int\varrho\,\omega\,dx\,.\,2u\,du$; oder, indem man u dt anstatt dx setzt:

$$-k\int\omega\,dp\,.\,u = \int p\,\omega\,u^2\,du. \quad (a')$$

Ersetzt man u und du durch die Werthe der Formeln ($\gamma$) S. 143, so wird diese Gleichung zu folgender:

$$k\int\frac{dp}{p} = P'^2\,\Omega'^2\,U^2\int\frac{d\,(p\,\omega)}{p^3\,\omega^3} \quad (b')$$

Die durch Integration giebt:

$$2k\,\log.\frac{P}{P'} = U^2\left(1-\frac{P'^2\,\Omega'^2}{P^2\,\Omega^2}\right) \quad (c')$$

welche mit der Formel ($\zeta$) S. 143 übereinstimmt.

Nun muß die Gleichung (a′) eben so wohl für einen beliebigen Theil des Systems, wie $A\,\alpha\,\beta\,B$, als für das ganze System der Schichten ACDB ihre Gültigkeit haben. Integrirt man daher bloß für das Stück vom Querschnitt AB bis zum Querschnitt $\alpha\beta$, so findet man die, mit ($\varepsilon$) S. 143 übereinstimmende, Formel:

$$2k\,\log.\frac{P}{p} = U^2\left(\frac{P'^2\,\Omega'^2}{p^2\,\omega^2}-\frac{P'^2\,\Omega'^2}{P^2\,\Omega^2}\right) \quad (d')$$

F) Geschähe der Eingang zur inneren Mündung **EF** nicht durch ein wie in Fig. 30 gestaltetes Mundstück, sondern wäre diese Mündung in einer ebenen Scheidewand befindlich, wie Fig. 31 vorstellt, so würde man anzunehmen haben, daß sich der Gasstral, welcher durch **EF** hindurchgegangen ist, in einer kleinen Weite von diesem Querschnitt zu **ef** zusammenzieht, und daß sich erst nach dieser Zusammenziehung die Schichten plötzlich erweitern, um den Querschnitt des Gefäßes **GH** einzunehmen.

In diesem Falle würde man in den Formeln (12) und (13) **mA** für **A**

Nehmen wir jetzt den Fall der Fig. 30 vor, wo beim Übergang des Gases aus dem Querschnitt **EF** in den Querschnitt **GH** eine plötzliche Veränderung der Geschwindigkeit und mithin ein Verlust von lebendiger Kraft Statt findet. In Betracht nun, daß die Geschwindigkeiten in den Querschnitten **EF** und **GH** respectiv $\frac{P'\Omega' U}{BA}$ und $\frac{P'\Omega' U}{B'A'}$ sind, wird der Verlust beim Übergange von **EF** nach **GH** sein:

$$U\left(\frac{P'\Omega'}{BA}-\frac{P'\Omega'}{B'A'}\right)$$

Die Masse des Gases, welche durch irgend einen Querschnitt während des Zeitelements $dt$ hindurchgeht, ist $\frac{P'}{k}\Omega' U dt$.

Mithin erfährt zufolge Carnot's Theorem (Méc. par Poisson II. 213) das System während dieses Zeitelements einen Verlust an lebendiger Kraft, dessen Werth ist:

$$\frac{P'}{k}\Omega' U dt \,.\, U^2\left(\frac{P'\Omega'}{BA}-\frac{P'\Omega'}{B'A'}\right)^2 \qquad (e')$$

Diese Quantität muß zum zweiten Gliede der Gleichung (a') gefügt werden, wodurch sich folgende ergiebt:

$$2k\log\frac{P}{P'} = U^2\left[1-\frac{P'^2\Omega'^2}{P^2\Omega^2}+\left(\frac{P'\Omega'}{BA}-\frac{P'\Omega'}{B'A'}\right)^2\right],$$

die dann zur Gleichung (12) führt.

Was die Bestimmung der Druckkräfte in den verschiedenen Theilen des Gefäßes anlangt; so gilt für den Theil **AEFB** des Gefäßes die Formel (d'); für den Theil **GHDC** des Gefäßes aber muß man die Gleichung (d') S. 152 mit Zufügung der Quantität (e') zum zweiten Gliede derselben anwenden; wodurch man findet:

$$2k\log\frac{P}{p} = U^2\left[\frac{P'^2\Omega'^2}{p^2\omega^2}-\frac{P'^2\Omega'^2}{P^2\Omega^2}+\left(\frac{P'\Omega'}{BA}-\frac{P'\Omega'}{B'A'}\right)^2\right] \qquad (f')$$

Der Formel (d') muß durch die Werthe Genüge geleistet werden, welche dem Querschnitt **EF** angehören, d. h. indem man $p = B$, $\omega = A$ setzt; der Formel (f') dagegen durch die Werthe, welche dem Querschnitt **GH** zugehören; d. h. indem man $p = B'$, $\omega = A'$ setzt. Wenn man nun diese Substitutionen macht und $U$ mittelst der Gleichung (12) eliminirt, erhält man die Gleichungen (13).

Wären im Gefäße mehrere Querscheidewände vorhanden, und müßte die Flüssigkeit durch mehrere innere Öffnungen hindurchgehen, so würde man zum zweiten Gliede der Gleichung (d') so viel, der Formel (e') ähnliche, Glieder zuzufügen haben, als Querscheidewände durchströmt worden sind.

zu substituiren haben, worin m das Bruchverhältniß der Area von EF und von ef bezeichnet.

G) Die Formeln (12) und (14) gestatten auch eine Anwendung auf die Fälle, wo ein Sprung in der Geschwindigkeit vermöge einer bloßen Einschnürung des Gefäßes, wie in Fig. 28 und 29 eintritt *).

In diesem Falle setze man in diesen Formeln $A = A'$ und für B setze man den größeren, für B' den kleinern der beiden Werthe, die sich aus folgender Formel **) für B ergeben würden:

$$\frac{\log. \frac{P}{B}}{\log. \frac{P}{P'}} = \frac{\frac{P^2\ \Omega^2}{B^2\ A^2} - 1}{\frac{P^2\ \Omega^2}{P'^2\ \Omega'^2} - 1} \qquad (15)$$

H) Für den Fall, daß in dem Gefäße Fig. 30 die beiden Querschnitte EF, CD sehr klein in Verhältniß zu den Querschnitten AB, GH, sind, gehen (12) und (13) in folgende über.

$$U = \sqrt{\frac{2k \log. \frac{P}{P'}}{1 + \frac{P'^2\ \Omega'^2}{B^2\ A^2}}} \qquad (16)$$

und

$$\left.\begin{aligned} \frac{\log. \frac{P}{B}}{\log. \frac{P}{P'}} &= \frac{1}{\frac{B^2\ A^2}{P'^2\ \Omega'^2} + 1} \\ \frac{\log. \frac{P}{B'}}{\log. \frac{P}{P'}} &= \frac{1}{\frac{B^2\ A^2}{P'^2\ \Omega'^2} + 1} \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

Da die zweiten Glieder letzterer Gleichung identisch sind, so folgt, daß man hier $B = B'$ hat. Mithin ändert sich in dem besondern Fall, von dem hier die Rede ist, der Druck des Gases bei seinem unmittelbaren Übergange vom Querschnitt EF in den Querschnitt GH um keine merkliche Quantität. Man kann sich außerdem überzeugen, daß der Werth von B oder B', den die Gleichungen (17) geben, immer größer sein wird, als der äußere Druck P', und diesem Druck nur dann gleich werden würde, wenn der Querschnitt EF, dessen Area mit A bezeichnet ist, ausnehmend klein

*) Eine Einschnürung bringt nicht nothwendig einen solchen Sprung mit sich, sondern bloß unter gewissen Verhältnissen, die sich nach der frühern Erörterung der Formel (8) ergeben.

**) Die nachstehende Formel ergiebt sich, wenn man in Formel (13) $A = A'$ und $B = B'$ setzt. Sie ist auch in dem Fall einer Einschnürung gültig, wenn kein Sprung daselbst Statt hat, wofern man nur dann für B' den größeren der beiden Werthe nimmt, die durch obige Gleichung gegeben werden, welcher Werth identisch ist mit dem durch Gleichung (6) gegebenen.

in Verhältniß zur Ausflußmündung CD ist, in welchem Fall die Formel (16) zeigt, daß die Größe der Ausflußgeschwindigkeit sehr klein werden würde. Man kann mithin dadurch, daß man die Flüssigkeit nöthigt, durch eine innere sehr kleine Mündung zu gehen, die Ausflußgeschwindigkeit beliebig verkleinern.

Wenn der Druck P den äußeren Druck P′ sehr wenig überträfe, so würde dasselbe vom Druck B gelten, und man würde sehr nahe haben:

$$\log. \frac{P}{P'} = \frac{P - P'}{P'}\,;\ \log. \frac{P}{B} = \frac{P - B}{P'}\,;\ \frac{B^2}{P^2} = 1 + 2\,\frac{B - P'}{P'}$$

Durch Substitution dieser Werthe in die Gleichungen (17) findet man:

$$B = B' = \frac{P + \frac{P'\,\Omega'^2}{A^2}}{1 + \frac{\Omega'^2}{A^2}} \qquad (18)$$

Im Falle, wo die Querschnitte EF und CD gleich wären, würde diese Gleichung geben:

$$B = B' = \frac{P + P'}{2}$$

so daß der Druck im Querschnitt EF dann das arithmetische Mittel zwischen den Druckkräften P und P′ sein würde, welche in den äußersten Querschnitten AB, CD Statt finden. Die Formel (16) wird alsdann:

$$U = \sqrt{\frac{2\,k\,\log. \frac{P}{P'}}{1 + \frac{4\,P'^2}{(P + P')^2}}} \qquad (19)$$

Vergleicht man dies Resultat mit der Formel (4), so ergiebt sich, daß dadurch, daß das Gas genöthigt wird, durch die innere Mündung EF hindurchzugehen, in diesem Falle die Geschwindigkeit an der Mündung CD und mithin das Volumen des Gases, welches in einer gegebenen Zeit ausfließt, in einem Verhältniß verringert wird, welches sehr wenig von dem von $\sqrt{2} : 1$ abweicht.

Erörterung der vorstehenden Formeln in Bezug auf einige besondere Anordnungsarten.

Ausfluß der Luft durch ein cylindrisches oder conisches Ansatzrohr. Erster Fall. Das cylindrische Rohr fügt sich an die ebene Fläche des Reservoirs mittelst einer Art Mundstück an, wie Fig. 32 darstellt, so daß die Gasstralen, welche zum ersten Querschnitt EF dieses Rohres gelangen, alle mit der Axe MN parallel gerichtet sind.

In diesem Falle werden Geschwindigkeit und Ausflußquantum offenbar durch die Formeln (1) bis (5), der Druck durch die Formeln (6) bis (8) bestimmt. Befindet man sich sonach im Falle der Fig. 26, so nimmt der Druck progressiv von AB nach EF, vom Werthe P bis zum Werthe P′ ab, der in dem Mittel, in welches das Gas ausströmt, Statt hat, und

eben so in dem ganzen Theile E F D C der Röhre besteht. Befindet man sich aber in dem Falle der Fig. 27, so geht der Druck von A B nach E F vom Werthe P in den Werth P″ über, der in der Fig. 27 dem Punkt M″ entspricht, der in demselben Abstande von der Axe o p als der Punkt M′ liegt, und dieser Druck P″ besteht ebenfalls von E F bis zum äußersten Querschnitt C D, wo der Druck plötzlich vom Werthe P″ in den Werth P′ übergeht, der außerhalb des Gefäßes Statt hat.

Zweiter Fall. Der Eingang der an die ebene Fläche des Reservoirs gefügten cylindrischen Röhre ist nicht evasirt, Fig. 33.

In diesem Falle gilt das unter F und G Erörterte, in folgender Art angewandt. Man nimmt an, daß der Gasstral, welcher durch den Querschnitt E F hindurchgegangen ist, und sich zusammengezogen hat, sich plötzlich zu G H ausbreitet. Man wird mithin in den Formeln (12) bis (14): erstens m A anstatt A schreiben, dann A = A′ = Ω′ machen. Setzt man überdies Ω′ sehr klein in Verhältniß zu Ω, so hat man hier statt der Gleichung (12) folgende:

$$U = \sqrt{\frac{2k \log. \frac{P}{P'}}{1 + \left(\frac{P'}{m B} - \frac{P'}{B'}\right)^2}}$$

und anstatt der Gleichung (13) folgende:

$$\frac{\log. \frac{P}{B}}{\log. \frac{P}{P'}} = \frac{\frac{1}{m^2 . B^2}}{\frac{1}{P'^2} + \left(\frac{1}{m B} - \frac{1}{B'}\right)^2}$$

$$\frac{\log. \frac{P}{B'}}{\log. \frac{P}{P'}} = \frac{\frac{1}{B'^2} + \left(\frac{1}{m B} - \frac{1}{B'}\right)^2}{\frac{1}{P'^2} + \left(\frac{1}{m B} - \frac{1}{B'}\right)^2}$$

worin B und B′ respectiv die Druckkräfte bezeichnen, welche in den Querschnitten e f und G H Statt haben. Die letzte dieser Gleichungen giebt B′ = P′, so daß der Druck im Querschnitt G H, wie sich erwarten ließ, gleich dem äußeren Druck ist, der im äußersten Querschnitte C D Statt hat. Zufolge dieses Resultates werden die beiden andern Gleichungen respectiv werden:

$$U = \sqrt{\frac{2k \log. \frac{P}{P'}}{1 + \left(\frac{P'}{m B} - 1\right)^2}} \qquad (20)$$

$$\frac{\log. \frac{P}{B}}{\log. \frac{P}{P'}} = \frac{\frac{P'^2}{m^2 B^2}}{1 + \left(\frac{P'}{m P} - 1\right)^2} \qquad (21)$$

Substituirt man den durch (21) gegebenen Werth von B in (22) so findet man dadurch die Ausflußgeschwindigkeit.

Gesetzt der Druck P übertreffe sehr wenig den äußeren Druck P′, so wird der Druck B sehr wenig von P′ verschieden sein. Macht man $P = P'(1 + \alpha)$, $B = P'(1 + \varepsilon)$, und substituirt diese Werthe in die Gleichung (21) unter Vernachlässigung des Quadrats und der höhern Potenzen von $\alpha$ und $\varepsilon$, so wird diese Gleichung geben:

$$\varepsilon = -\alpha \frac{2m - 2m^2}{1 - 2m + 2m^2}$$

d. i.

$$B = P' (P - P') \frac{2m - 2m^2}{1 - 2m + 2m^2} \qquad (22)$$

welcher Werth in die Gleichung (20) zu substituiren ist. Giebt man dem Verhältniß m den Werth 0,62, so wird man haben:

$$B = P' - 0{,}89\,(P - P').$$

Es erhellt aus diesen Resultaten, daß der Druck in dem Querschnitt ef immer kleiner als der äußere Druck P′ ist, welcher von GH bis CD Statt hat. Diese Erniedrigung des äußeren Drucks beträgt ziemlich $\frac{9}{10}$ der Differenz zwischen den Drucken P und P′. Substituirt man den Werth (22) von B in den Ausdruck (21) der Ausflußgeschwindigkeit, so wird dieser Ausdruck einen Werth dieser Geschwindigkeit geben, welcher stets kleiner als

$$U = \sqrt{\frac{2k \log. \frac{P}{P'}}{1 + \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2}}$$

sein und sich um so mehr von dieser Gränze entfernen wird, je größer die Differenz P — P′ ist. Man schließt hieraus, daß die Ausflußquantität hier stets kleiner, als der, mit dem Bruch

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2}}$$

multiplicirte Werth (5) ist, welcher einer evasirten Mündung zugehört, und daß die Verschiedenheit mit dem Überschuß des innern, im Gasometer Statt findenden, Drucks über den äußern Druck zunimmt. Nun stellt der vorstehende Druck für den Ausfluß einer tropfbaren Flüssigkeit genau das Verhältniß des Ausflußquantums dar, welches durch eine kleine cylindrische Ansatzröhre Statt findet, zu dem durch eine evasirte Mündung Statt findenden Ausflußquantum, welches Verhältniß constant und unabhängig von dem Drucke, unter welchem der Ausfluß geschieht, ist. Wir finden also, daß bei einer elastischen Flüssigkeit der Ausfluß durch eine enge cylindrische Ansatzröhre mit dem einer tropfbaren Flüssigkeit übereinkommt, wenn der Drucküberschuß, welcher den Ausfluß bewirkt, ausnehmend klein ist; daß aber in dem Maße, als die Differenz der Druckextreme zunimmt, das

Verhältniß des effectiven Ausflußquantums zu dem, was man das theoretische Ausflußquantum nennt, anstatt wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten constant zu bleiben, progressiv abnimmt.

Wir werden in der Folge das Verhältniß des Ausflußquantums, welches wirklich durch eine cylindrische Ansatzröhre Statt hat, zu dem, welches sich durch Berechnung nach der Formel (5) ergeben würde, mit $\mu$ bezeichnen. Nach dem Vorstehenden und unter Berücksichtigung, daß für die atmosphärische Luft, wie für das Wasser $m = 0,62$ gefunden wird, hat man sehr nahe

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{0,62\left(1 - 0,89\,\frac{P - P'}{P'}\right)} - 1\right)^2}}$$

für den Fall, wo die Differenz zwischen P und P′ sehr klein im Verhältniß zu ihren absoluten Werthen ist.

Man findet in der obenerwähnten Abhandlung von Lagerhielm zwei Versuche über den Ausfluß der Luft durch ein cylindrisches Ansatzrohr, deren Resultate in folgender Tabelle verzeichnet sind. Der Durchmesser dieses Rohres war 0,063 Fuß, die Länge 0,46 Fuß; der Stand des auswendigen Barometers 2,511 Fuß, die Temperatur 13° C.

| Drucküberschuß. | Dauer des Ausflußes. | Volumen ausgeflossener Luft. | Werth des Verhältnisses $\mu$. |
|---|---|---|---|
| Fuße. | Secunden. | Cubikfuße. | |
| 1,515 | 11,25 | 8,0197 | 0,84 |
| 0,5757 | 20,5 | 7,893 | 0,7164 |

Die große Verschiedenheit der beiden Werthe von $\mu$, die durch diese Versuche gegeben werden, eine Verschiedenheit, die die entgegengesetzte Richtung von der hat, welche nach vorstehender Theorie Statt finden sollte, erlaubt nicht, ihnen eine sehr große Genauigkeit beizulegen. Das mittlere Resultat ist $\mu = 0,78$; und da dies Verhältniß ein wenig kleiner als dasjenige ist, welches dem Wasser unter denselben Umständen zukommen würde, so würde dies übrigens ganz in Übereinstimmung mit der in Rede stehenden Theorie sein. Man findet auch, daß die Beobachtungen Lagerhielm's über die Druckverminderung, welche in dem Theile der Röhre, wo der Stral sich zusammengezogen hat, Statt hat, ganz mit den oben ausgesprochenen Resultaten übereinstimmen. Nur zeigen diese Beobachtungen an, daß der Druck von der Wand nach der Axe der Röhre zu abnimmt, ein Umstand, der durch Formeln, welche auf die Hypothese des Parallelismus der Schichten gegründet sind, nicht reproducirt werden kann, da diese Hypothese einen gleichen Druck so wie eine gleiche Geschwindigkeit in allen

Punkten eines und desselben Querschnittes voraussetzt, und mithin ein einfaches Resultat giebt, welches man mit dem Mittel derer vergleichen muß, die in den verschiedenen Theilen dieses Querschnittes beobachtet werden.

Andere von d'Aubuisson herrührende Versuche, welche in dem oben citirten Bande der Annales des Mines enthalten sind, haben Resultate geliefert, die in folgender Tabelle dargestellt sind:

| Durchmesser des Ansatzrohres. | Länge des Ansatzrohres. | Drucküberschuß. | Werth des Verhältnisses $\mu$. |
|---|---|---|---|
| Meter. | Meter. | Meter. Meter. | |
| 0,01 | 0,04 | 0,027 bis 0,0141 | 0,931 |
| 0,015 | 0,045 | 0,027 — 0,012 | 0,924 |
| 0,02 | 0,06 | 0,028 — 0,096 | 9,916 |
| 0,03 | 0,08 | 0,025 — 0,039 | 0,933 |
| 0,022 | 0,022 | | 0,927 |
| | 0,045 | | 0,924 |
| | 0,160 | | 0,832 |
| | 0,325 | | 0,738 |

Der Werth des Coefficienten $\mu$ ist für die Versuche, bei welchen die Länge der Röhre den Durchmesser nicht drei= bis viermal überschreitet, 0,926. Das auf die Röhre, bei welcher die Länge sieben= bis achtmal so groß als der Durchmesser ist, bezügliche Resultat liegt zwischen den Resultaten der beiden Versuche Lagerhielm's mitten inne, bei welchen das Verhältniß ungefähr dasselbe war, und stimmt mithin, gleich diesen letzteren, mit der vorstehenden Theorie überein. Die anderen Versuche führen zu größeren Werthen von $\mu$, als aus dieser Theorie nach der Annahme hervorgehen würde, daß sich der Stral beim Eintritt des Ansatzrohres im Verhältniß von 1 : 0,62 zusammenzieht, d. h. daß m = 0,62 ist, wie in der Formel (23) angenommen worden. Diese Verschiedenheit kann zum Theil durch den S. 150 erwähnten Umstand erklärt werden, zufolge dessen die Zusammenziehung beim Eintritt des Ansatzrohres geringer sein mußte, als sie gewesen wäre, wenn der Mündung nicht eine Art Mundstück vorausgegangen wäre. In der That muß der Werth des Verhältnisses $\mu$ hier ausnehmend wenig von dem differiren, welchen die Formel

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2}}$$

geben würde. Diese läßt finden $\mu = 0,85$, wenn man darin $m = 0,62$ setzt. Setzt man aber darin $m = 0,65$, welcher Werth direct aus den Versuchen d'Aubuisson's hervorgeht, die mit demselben Apparate an

einer Öffnung in einer dünnen Wand angestellt waren, wie S. 149 angegeben worden, so wird dieselbe Formel $\mu = 0,88$ geben, welches Resultat nicht mehr so weit von dem durch den Versuch gefundenen Werthe abweicht. Da überdies die in Rede stehenden Versuche mit sehr kleinen Drucküberschüssen angestellt wurden, so scheint es, daß man in Erwartung mehrerer und mehr abgeänderter Versuche die vorige Theorie als gültig anerkennen und den Ausdruck (23) zur Bestimmung des Verhältnisse $\mu$ anwenden kann.

D'Aubuisson hat auch Versuche über conische Ansatzröhren angestellt, deren Resultate in folgender Tabelle enthalten sind:

| Durchmesser des Ansatzrohrs | | Länge des Ansatzrohrs. | Innerer Druck. | | | Werth des Verhältnisses $\mu$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| an der Basis. | an der Mündung. | | | | | |
| Meter. | Meter. | Meter. | Meter. | | Meter. | |
| 0,02 | 0,01 | 0,04 | 0,05 | bis | 0,12 | 0,927 |
| 0,03 | 0,015 | 0,045 | 0,028 | — | 0,12 | 0,917 |
| 0,04 | 0,02 | 0,06 | 0,027 | — | 0,06 | 0,936 |
| 0,06 | 0,03 | 0,08 | 0,04 | — | 0,05 | 0,933 |
| 0,02 | 0,015 | 0,045 | 0,028 | bis | 0,12 | 0,938 |
| 0,03 | | | | | | 0,917 |
| 0,06 | | | | | | 0,798 |
| 0,02 | | 0,025 | | | | 0,947 |

Die Resultate der in Bezug auf ein cylindrisches Ansatzrohr gegebenen Erörterungen können im Allgemeinen keine Anwendung auf ein kegelförmiges Ansatzrohr finden, weil die drei Querschnitte **EF**, **GH**, **CD** (Fig. 33) nicht mehr unter einander gleich sind und weil eine größere Contraction des Strals jenseits des äußersten Querschnitts **CD** Statt findet. Da jedoch bei fast allen vorstehenden Versuchen die Neigung der Seitenfläche des Kegels gegen die Axe sehr klein war, so würden allerdings hier die, für cylindrische Ansatzröhren geltenden, Resultate ohne merklichen Irrthum ihre Anwendung finden können, wobei dieselben Bemerkungen Platz finden würden, als so eben bei den cylindrischen Ansatzröhren gemacht wurden.

Vom Ausflusse eines Gases aus einem Gefäße in ein anderes durch eine kleine Mündung. Es seien zwei Gefäße von rechteckiger Gestalt, welche durch eine kleine Mündung mit einander communiciren und eine, in dem ersten Gefäße enthaltene, gasförmige Flüssigkeit fließe in das zweite durch diese Mündung über. Es seien nun die Druckkräfte und mithin Dichtigkeiten gegeben, welche in einem gewissen Augen-

blicke in beiden Gefäßen Statt haben und es werden gesucht die Druckkräfte und Dichtigkeiten, die nach einer beliebigen Zeit Statt haben. Es heiße:

A das Volumen des Gefäßes, aus welchem das Gas austritt.

A′ das Volumen des Gefäßes, in welches das Gas eintritt.

P, P′ die Druckkräfte, welche respectiv in beiden Gefäßen in dem Augenblick, wo man t = o rechnet, Statt haben.

p, p′ die Druckkräfte, die respectiv in beiden Gefäßen zu Ende der Zeit t Statt finden.

Ω′ die Area der Communicationsmündung.

Zufolge der Kleinheit der Mündung Ω′ und der Gestalt, welche beiden Gefäßen beigelegt worden ist, wollen wir annehmen: 1) daß die Ausflußgeschwindigkeit durch Wirkung der Druckdifferenz von p und p′ eben so erzeugt wird, als dies Statt haben würde, wenn diese Druckkräfte sich nicht mit der Zeit änderten; 2) daß diese nämlichen Druckkräfte in einem gegebenen Augenblicke in der ganzen Ausdehnung der beiden Gefäße bestehen. Diese Annahmen können sich nicht merklich von den wirklichen Verhältnissen entfernen und sind analog dem, was Statt hat, wenn ein Gefäß, welches mit Wasser gefüllt war, sich durch eine kleine Mündung entleert, in welchem Falle es erlaubt ist, die veränderliche Geschwindigkeit, welche an dieser Mündung Stadt findet, in jedem Augenblicke als abhängig zu betrachten von der Höhe der Flüssigkeit im Gefäße und dem Druck in allen Theilen des Gefäßes, so angenommen, wie er Statt haben würde, wenn die Flüssigkeit in Ruhe wäre. Hiernach wird das Volumen der Flüssigkeit, welche in der unendlich kleinen Zeit dt aus dem ersten Gefäße ausfließt, zufolge der Formel (5) ausgedrückt werden durch

$$dt \frac{p' \Omega}{p} \sqrt{2k \log. \frac{p}{p'}}$$

Nun muß sich der Druck im ersten Gefäße genau im Verhältniß des Volumens der Flüssigkeit, die daraus austritt, zum Totalvolumen mindern, man hat mithin das Verhältniß:

$$-\frac{dp}{p} = \frac{1}{A} dt \,.\, \frac{p' \Omega'}{p} \sqrt{2k \log. \frac{p}{p'}}$$

woraus man ableitet:

$$dt = -\frac{A\,dp}{p' \Omega' \sqrt{2k\,(\log. p - \log. p')}} \qquad (24)$$

In Erwägung aber, daß die in beiden Gefäßen enthaltene Gasmasse immer dieselbe bleiben muß, hat man überdies

$$AP + A'P' = Ap + A'p'$$

und durch Substitution des, aus dieser letzten Gleichung hergeleiteten, Werthes von p′ in die vorigen findet man:

$$dt = -\frac{AA' \,.\, dp}{\Omega[A(P-p)+A'P']\sqrt{2k\,\{\log.[A(P-p)+A'P'] + \log.A'\}}} \qquad (25)$$

Diese Gleichung, von $p = P$ an integrirt wird die Zeit geben, welche erforderlich ist, damit der Druck im ersten Gefäße vom ursprünglichen Werthe P auf einen beliebigen Werth p komme. Wenn das Gas aus dem ersten Gefäße in ein Mittel von unbegränzter Ausdehnung, worin der Druck für constant genommen wird, überginge, so müßte man für $p'$ den constanten Werth $P'$ in der Gleichung (24) setzen, was anstatt der Gleichung (25) geben würde

$$dt = - \frac{A\,dp}{P'\,\Omega'\sqrt{2k\,(\log.\,p - \log.\,P')}} \qquad (26)$$

Zu demselben Resultate würde man kommen, wenn man in der Gleichung (25) $A'$ unendlich groß gegen A setzte.

§. II. **Formeln in Bezug auf den Ausfluß durch längere Röhrenleitungen.**

Wenn die Länge einer cylindrischen Röhre sehr groß ist, z. B. den Durchmesser hundertmal oder mehr übersteigt, so lehrt der Versuch, daß die Volumina Gas, welche in einer gegebenen Zeit ausfließen, viel kleiner sind, als sie nach den vorstehenden Formeln ausfallen würden, und überdies, daß der Druck progressiv von einem Ende der Röhre zum andern abnimmt, was offenbar davon abhängt, daß die Bewegung des Gases hier durch Ursachen Eintrag erfährt, welche die vorstehende Theorie nicht in Rechnung zieht, und die dessenungeachtet nicht vernachlässigt werden dürfen. Bei den tropfbaren Flüssigkeiten, wo ein ähnlicher verzögernder Einfluß Statt findet, kann derselbe durch eine Kraft repräsentirt werden, welche von der Geschwindigkeit der Flüssigkeit abhängt und der Ausdehnung der Röhrenwand proportional ist, und zwar setzt man sie hier, um die Beobachtungen getreu genug wiederzugeben, aus zwei Gliedern zusammen, deren eins die erste, das andre die zweite Potenz der Ausflußgeschwindigkeit enthält. Aus den über den Ausfluß der Gasarten angestellten Versuchen jedoch scheint hervorzugehen, daß der Ausdruck dieser nämlichen Kraft in den Formeln, welche die Umstände dieses Ausflusses repräsentiren, auf ein einziges, der zweiten Potenz der Geschwindigkeit proportionales, Glied reducirt werden könne, und dies ist im Folgenden geschehen.

**Erster Fall.** Das Gefäß, durch welches das Gas ausfließt, reducirt sich auf eine horizontale cylindrische Röhre (Fig. 34).

Im ersten Querschnitt AB sey beständig der Druck P, im letzten CD der Druck $P'$ vorhanden.

Es heiße ferner

$\Omega$ die constante Area des Querschnitts der Röhre.

$\xi$ der Umkreis dieses Querschnitts.

D sein Durchmesser.

x der Abstand $M\mu$ irgend eines Querschnitts $\alpha\beta$ vom Ende M.

$\lambda$ die Totallänge MN der Röhre.

u die Geschwindigkeit in einem beliebigen Querschnitt $\alpha\beta$.

U die Ausflußgeschwindigkeit im äußersten Querschnitt CD.

$\beta$ ein Coefficient, dessen numerischer Werth so bestimmt werden muß, daß er den Resultaten der Versuche genügt.

$\pi$ das Verhältniß des Umkreises zum Durchmesser.

Man findet dann folgende Formeln *):

$$U = \sqrt{\frac{\frac{k}{2}\left(\frac{P^2}{P'^2} - 1\right)}{\frac{4\beta\lambda}{D} + \log.\frac{P}{P'}}} \qquad (27)$$

Das Gasvolumen, welches in der Zeiteinheit, gemessen unter dem Drucke $P'$, ausfließt, ist gleich dem Producte von U in die Area $\frac{\pi D^2}{4}$ des Quer-

*) Die Herleitung ist diese: Wir wollen annehmen, die in $\alpha\beta$ befindliche Schicht werde nach der ihrer Bewegung entgegengesetzten Richtung durch eine Kraft sollicitirt, welche durch $\varrho \xi d x \beta u^2$ repräsentirt wird, insofern man den Werth dieser Kraft proportional setzt der Dichtigkeit $\varrho$ des Gases, der Area $\xi d x$ des von der Schicht eingenommenen Wandtheils und dem Quadrat der Geschwindigkeit u. Die Bewegungsgleichung dieser Schicht wird also seyn:

$$- \Omega d p = \varrho \xi d x \beta u^2 + \varrho \Omega d x \frac{d u}{d t} \qquad (\alpha')$$

oder, weil $p = k \varrho$

$$- k \frac{d p}{p} = \frac{\xi}{\Omega} d x \beta u^2 + d x \frac{d u}{d t} \qquad (\beta')$$

welche Gleichung hier die Gleichung ($\beta$) S. 143 Anm. vertritt. Da der Querschnitt des Gefäßes constant ist, so haben wir anstatt der Gleichungen ($\gamma$) S. 143 Anm.

$$u = \frac{P' U'}{p}, \quad \frac{d u}{d t} = - \frac{P' U}{p^2} \frac{d p d x}{d x d t} \qquad (\gamma')$$

durch Substitution dieser Werthe in die vorige Gleichung, worin man $d x$ durch $u\, d\, t$ und $\frac{\xi}{\Omega}$ durch $\frac{4}{D}$ ersetzt, findet man:

$$- k p d p = \frac{4}{D} d x \beta P'^2 U^2 - P'^2 U^2 \frac{d p}{p} \qquad (\delta')$$

was durch Integration giebt:

$$- \frac{1}{2} k p^2 = \frac{4}{D} x \beta P'^2 U'^2 - P'^2 U^2 \log. p. + \text{Const.} \qquad (\varepsilon')$$

Die Constante läßt sich nach der Bemerkung bestimmen, daß man im ersten Querschnitt der Röhre hat $x = o$ und $p = P$, welches giebt:

$$\frac{1}{2} k (P^2 - p^2) = \frac{4 x}{D} \beta P'^2 U^2 + P'^2 U^2 \log. \frac{P}{p} \qquad (\zeta')$$

und, da man am entgegengesetzten Ende hat $x = \lambda$, $p = P'$, so zieht man hieraus:

$$\frac{1}{2} k (P^2 - P'^2) = \frac{4 \lambda}{D} \beta P'^2 U^2 + P'^2 U^2 \log. \frac{P}{P'} \qquad (\eta')$$

was dann zu der Gleichung (27) führt.

schnitts der Röhre, mithin ist der Ausdruck dieses Volumens, gemessen unter dem im Gasometer Statt findenden Druck P:

$$\frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{\frac{k}{2}\left(1-\frac{P'^2}{P^2}\right)}{\frac{4\beta\lambda}{D}+\log.\frac{P}{P'}}} \qquad (28)$$

Ist das Verhältniß $\frac{\lambda}{D}$ der Länge der Röhre zu ihrem Durchmesser sehr groß, so kann man in vorstehenden Formeln das Glied des Nenners, worin dies Verhältniß nicht enthalten ist, vernachlässigen, und hat dann blos

$$U = \sqrt{\frac{kD}{8\beta\lambda}\left(\frac{P^2}{P'^2}-1\right)} \qquad (29)$$

und für den Ausdruck des Gasvolumens, welches in der Zeiteinheit ausfließt, gemessen unter dem im Gasometer Statt findenden Druck:

$$\frac{\pi D^2}{4}\sqrt{\frac{kD}{8\beta\lambda}\left(1-\frac{P'^2}{P^2}\right)} \qquad (30)$$

Um den Druck p zu bestimmen, der im Abstande x vom Ursprunge der Röhre im Gasometer Statt hat, gilt die Gleichung (gefunden durch Elimination von U zwischen (ζ') und (27)):

$$\frac{P^2-p^2}{P^2-P'^2} = \frac{\frac{4\beta x}{D}+\log.\frac{P}{p}}{\frac{4\beta\lambda}{D}+\log.\frac{P}{P'}} \qquad (31)$$

Sind die mit x und λ bezeichneten Längen hinlänglich groß im Verhältniß zum Durchmesser D, daß man die Glieder log. $\frac{P}{p}$ und log. $\frac{P}{P'}$ vernachlässigen kann, so wird sich die vorige Gleichung reduciren auf

$$\frac{P^2-p^2}{P^2-P'^2} = \frac{x}{\lambda}; \text{ oder } p = \sqrt{P^2-(P^2-P'^2)\frac{x}{\lambda}} \qquad (32)$$

welche sehr einfache Gleichung dienen kann, den Werth des Drucks in den verschiedenen Theilen einer Leitungsröhre zu bestimmen. *) Man kann hie-

*) Es folgt aus diesem Ausdruck, daß, wenn man eine Curve verzeichnete, wovon x die Abscisse und p die Ordinate vorstellte, so würde diese Curve, deren Ordinaten für die Abscissen $x = o$ und $x = \lambda$ respectiv $= P$ und $P'$ sein würden, im Zwischenraume ihre Concavität gegen die Axe der Abscisse kehren, indem alle Ordinaten größer seyn würden, als die der geraden Linie, welche die beiden äußersten Punkte vereinigte. Die Differenz zwischen den Ordinaten der Curve und denen der geraden Linie ist jedoch sehr klein, zumal wenn der innere Druck P den äußern P' wenig überwiegt.

bei bemerken, daß, wenn man $\Omega = \Omega'$ in der Formel (1) setzt, sich für den Ausdruck der Ausflußgeschwindigkeit ergiebt:

$$U = \sqrt{\frac{2\,k \log. \frac{P}{P'}}{1 - \frac{P'^2}{P^2}}}$$

welcher Ausdruck einer Röhre von beliebiger Gestalt zwischen den beiden äußersten Querschnitten, wofern nur diese Querschnitte gleich sind, angehört. Dies Resultat scheint sonach für den besondern Fall einer cylindrischen Röhre anwendbar seyn zu müssen, welche hinreichend kurz ist, daß man von dem Widerstande abstrahiren kann, der von Reibung der Flüssigkeit gegen die Wand abhängt. Jedoch die Formel (27), welche durch directe Betrachtung dieses Falls gefunden worden ist, hat zur Gränze, wenn $\lambda$ immer kleiner wird, den davon verschiedenen Ausdruck

$$U = \sqrt{\frac{\frac{k}{2}\left(\frac{P^2}{P'^2} - 1\right)}{\log. \frac{P}{P'}}}$$

Diese Discordanz zeigt an, daß durch Zuziehung einer verzögernden Kraft, welche von Reibung der Flüssigkeit an der Wand abhängt, die Natur der Bewegung des Gases wesentlich geändert wird. In der That wird bei Beiseitlassung dieser Kraft der Werth des Drucks im Rohre durch die Gleichung (6) gegeben, wenn man darin $\omega = \Omega' = \Omega$ setzt. Man wird sich dann immer im Fall der Fig. 27 befinden, wie leicht zu ersehen ist. Der Druck wird seine Größe im Querschnitte A B (Fig. 34) plötzlich ändern und in der ganzen Ausdehnung der Röhre dem äußern Drucke P′ gleich seyn. Im Fall der Zuziehung jener Kraft dagegen wird der Werth des Drucks in der Röhre durch die Formel (32) gegeben werden, welcher anzeigt, daß dieser Druck progressiv von einem Ende der Röhre nach dem andern hin abnimmt. Das Gas fließt sonach nicht in beiden Fällen auf die nämliche Weise aus und man darf sich nicht wundern, daß man für jeden derselben verschiedene Ausdrücke der Geschwindigkeit erhält.

Diese Ausdrücke stimmen übrigens darin überein, daß sie $U = \infty$ geben, wenn der Druck P′ ausnehmend klein in Verhältniß zu P ist. Auch nähern sich die aus beiden abzuleitenden Werthe um so mehr der Identität, je kleiner der Unterschied der Druckkräfte P, P′ wird. In der That, setzt man $P = P'(1 + \alpha)$, wo $\alpha$ einen sehr kleinen Bruch bedeutet, so hat man

$$\log. \frac{P}{P'} = \alpha, \quad \frac{P^2}{P'^2} = 1 + 2\alpha$$

und findet durch Substitution dieser Werthe in die beiden vorstehenden Formeln respectiv:

$$U = \sqrt{k\,(1 + 2\,\alpha)}, \quad U = \sqrt{k}$$

Mithin stimmen die in Rede stehenden Formeln in den beiden äußersten Fällen überein, und die Werthe, die man für die Zwischenfälle daraus ableitet, weichen wenig von einander ab.

Es erhellt übrigens aus dem Vorstehenden, daß beim Ausfluß durch eine cylindrische Röhre von kleiner Länge der Werth der Geschwindigkeit, wenn der Unterschied der äußersten Druckkräfte sehr klein ist, nicht mehr merklich von den respectiven Werthen dieser Druckkräfte abhängt, sondern fast allein vom Verhältniß k der Spannkraft zur Dichtigkeit des Gases.

Es muß bemerkt werden, daß vorstehende Auflösung keine genaue Anwendung für die meisten der Fälle finden kann, welche gewöhnlich bei Gasleitungsröhren vorkommen. In der That, diese Röhren haben gewöhnlich ihren Ausgangspunkt in einem Reservoir oder Gasometer von großem Volumen, das Gas tritt gewöhnlich mit einer Zusammenziehung hinein und entweicht manchmal am andern Ende durch eine Mündung, deren Area kleiner als der Querschnitt dieser Röhre ist. Diese verschiedenen Umstände sind bei dem folgenden Fall mit in Rechnung genommen.

Zweiter Fall. Man betrachte eine horizontale cylindrische Röhre **EJKF** (Fig. 35), welche an die obere Wand eines Reservoirs angefügt und mit der Mündung C D begränzt ist, deren Austritt evasirt ist. Der Querschnitt A B des Reservoirs, in welchem der Druck P ist, werde immer mit $\Omega$, und der Querschnitt C D der Ausflußmündung, wo der Druck P′ ist, mit $\Omega'$ bezeichnet. Man setze (wie schon früher), daß beim Eintritt der Gasstrahl, nachdem er sich zu e f zusammengezogen hat, sich plötzlich zu G H erweitert, und bezeichne mit B und B′ die Druckkräfte, die respectiv in den Querschnitten e f und G H Statt haben. Es heiße $P_1$ der Druck, welcher im Querschnitte J K am Ende des Rohrs unmittelbar vor der Ausflußmündung hergeht. Übrigens bleiben dieselben Benennungen als vorher. Dann findet man durch gehörige Ableitung: *)

$$2\,k\log.\frac{P}{P'} = U^2\left[\frac{2\beta\xi\lambda}{\omega}\;\frac{P'^2\,\Omega'^2}{(B'^2-P_1^2)\,\omega^2}.\,2\log.\frac{B'}{P_1}+1-\frac{P'^2\Omega'^2}{P^2\,\Omega^2}+\left(\frac{P'\,\Omega'}{Bm\omega}\;\;\frac{P'\Omega'}{B'\,\omega}\right)^2\right] \qquad (33)$$

worin $\omega$ und $\xi$ respectiv die Area und den Umkreis des constanten Durchschnitts der Röhre bezeichnen.

Diese Gleichung kann zur Bestimmung der Ausflußgeschwindigkeit U dienen, wenn die Druckkräfte B, B′ und $P_1$, welche respectiv in den Querschnitten e f, G H und J K Statt haben, bekannt sind.

Zur Bestimmung von B, B′ und $P_1$ führen folgende Gleichungen:

$$2\,k\log.\frac{P}{B} = U^2\left(\frac{P'^2\,\Omega'^2}{B^2.m^2\,\omega^2}-\frac{P'^2\,\Omega'^2}{P^2\,\Omega^2}\right) \qquad (34)$$

*) Mém. de l'Acad. VII. p. 363.

$$2\,k\,\log.\ \frac{P}{B'} = U^2 \left[\frac{P'^2\,\Omega'^2}{B'^2\,\omega^2} - \frac{P'^2\,\Omega'^2}{P^2\,\Omega^2} + \left(\frac{P'\,\Omega'}{B.m\,\omega} - \frac{P'\,\Omega'}{B'\,\omega}\right)\right] \quad (35)$$

$$2\,k\,\log.\ \frac{P}{P_1} = U^2 \left[\frac{2\beta\lambda\xi}{\omega} \cdot \frac{P'^2\,\Omega'^2}{(B'^2 - P_1^2)\,\omega} \cdot 2\log.\ \frac{B'}{P_1} + \frac{P'^2\,\Omega'^2}{P_1^2\,\omega^2} - \frac{P'^2\,\Omega'^2}{P^2\,\Omega^2} + \left(\frac{P'\,\Omega'}{B.m\,\omega} - \frac{P'\,\Omega'}{B'\,\omega}\right)^2\right] \quad (36)$$

Allgemein hat man zur Bestimmung des Drucks p für den Querschnitt $\omega$ im Intervall EefF

$$2\,k\,\log.\ \frac{P}{p} = U^2 \left(\frac{P'^2\,\Omega'^2}{p^2\,\omega^2} - \frac{P'^2\,\Omega'^2}{P^2\,\Omega^2}\right)$$

im Intervall zwischen GH und CD aber

$$2\,k\,\log.\ \frac{P}{p} = U^2 \left[\frac{2\beta\lambda\xi}{\omega} \cdot \frac{P'^2\,\Omega'^2}{(B'^2 - P_1^2)\,\omega^2} \log.\ \frac{B'^2}{B'^2 - (B'^2 - P_1^2)\frac{x}{\lambda}} + \frac{P'^2\,\Omega'^2}{p^2\,\omega^2} - \frac{P'\,\Omega'^2}{P^2\,\Omega^2} + \left(\frac{P'\,\Omega'}{B.m\,\omega} - \frac{P'\,\Omega'}{B'\,\omega^2}\right)^2\right] \quad (38)$$

Bei den bekannten Versuchen und den meisten der Anwendungen, die sich darbieten können, ist der Überschuß des innern Drucks P über den äußern Druck P′ eine sehr kleine Größe im Verhältniß zum Werthe dieser Druckkräfte. Ferner ist die Area $\omega$ des Querschnitts der Leitungsröhre sehr klein im Verhältniß zur Area $\Omega$ des Querschnitts des Reservoirs, welches das Gas liefert. Vernachlässigen wir demnach den Theil (terme) welcher $\Omega'$ im Nenner enthält, setzen wir $P = P'(1+\alpha)$, $B = P'(1+\varepsilon)$, $B' = P'(1+\varepsilon')$, $P_1 = P'(1+\alpha_1)$, von $\alpha$, $\varepsilon$, $\varepsilon'$, $\alpha_1$ sehr kleine Bruchtheile sind, deren Quadrat und höhere Potenzen sich vernachlässigen lassen, so werden die Gleichungen (34), (35), (36) und (38) respectiv zu folgenden führen:

$$\alpha - \varepsilon = \frac{\alpha}{\left[\frac{2\beta\lambda\xi}{\omega} + \frac{\omega^2}{\Omega'^2} + \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2\right] m^2} \quad (39)$$

$$\alpha - \varepsilon' = \alpha\, \frac{1 + \left(\frac{1}{m} - 1\right)}{\frac{2\beta\lambda\xi}{\omega} + \frac{\omega^2}{\Omega'^2} + \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2} \quad (40)$$

$$\alpha - \alpha_1 = \alpha_1\, \frac{\frac{2\beta\xi\lambda}{\omega} + 1 + \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2}{\frac{\omega^2}{\Omega'^2} - 1} \quad (41)$$

$$U = \frac{\omega}{\Omega'} \sqrt{\frac{2\,k\,\alpha}{\frac{2\beta\lambda\xi}{\omega} + \frac{\omega^2}{\Omega'^2} + \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2}} \quad (42)$$

mittelst welcher Gleichungen man die Ausflußgeschwindigkeit und Druckkräfte in den verschiedenen Theilen der Röhre bestimmen kann.

Die ersten experimentalen Untersuchungen, welche über den Ausfluß der elastischen Flüssigkeiten bekannt sind, und die erforderlichen Elemente darbieten, um die vorstehende Theorie zu bewähren und den Werth des Coefficienten $\beta$ zu bestimmen, sind die, welche von Girard angestellt worden sind, und deren Resultate sich in T. V. (1821—1822) der Mém. d. l'Acad. finden. Diese Versuche bestanden in Beobachtung des Gasvolumens, welches in einer gegebenen Zeit durch eine Leitungsröhre ausfloß, die von einem Gasometer ausging und an ihrem Ende ganz offen war. Um auf diesen Fall den Ausdruck der Formel (42) anzuwenden, muß man erstlich $\omega = \Omega'$ setzen, dann in Betracht ziehen, daß, da die Länge der Leitungsröhre sehr groß im Verhältniß zu ihrem Durchmesser war, im Nenner des Bruches, der sich unter dem Radical befindet, die beiden letzten Termen vernachlässigt werden können. Man hat sonach

$$U = \sqrt{\frac{k D \alpha}{4 \beta \lambda}}$$

für den Ausdruck der Ausflußgeschwindigkeit am Ende der Röhre, wo D den Durchmesser der Leitungsröhre bedeutet. Um das Gasvolumen zu haben, welches in der Zeiteinheit ausgeflossen ist (dies Volumen unter dem im Gasometer Statt findenden Druck gemessen), muß man vorstehenden Ausdruck mit der Area des Querschnitts der Röhre und dem Verhältniß $\frac{P'}{P}$ des innern und äußern Drucks multipliciren. Man wird also für das in Rede stehende Volumen erhalten, wenn man für $\alpha$ seinen Werth $\frac{P - P'}{P'}$ setzt,

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{P'}{P} \sqrt{\frac{k D}{4 \beta \lambda} \cdot \frac{P - P'}{P'}} \qquad (43)$$

Nennen wir $\zeta$ die Höhe der Gassäule, unter dem Druck P' betrachtet, deren Gewicht den Überschuß P — P' des im Gasometer Statt findenden Drucks über den äußern Druck hervorbringen könnte, so wird man haben

$$g \frac{P'}{k} \zeta = P - P'$$

und mithin $k = g \zeta \frac{P'}{P - P'}$. Mithin kann die Formel (43) die Form erhalten:

$$V = \frac{\pi D^2 P'}{4 P} \sqrt{\frac{g D \zeta}{4 \beta \lambda}}$$

Girard hat gezeigt, daß die Resultate seiner Versuche repräsentirt werden können, wenn man für den Ausdruck des Ausflußquantums in der Zeiteinheit die Formel

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{g D \zeta}{4 \beta \lambda}}$$

nimmt, welche sich von der vorstehenden blos darin unterscheidet, daß das Verhältniß $\frac{P'}{P}$ durch die Einheit ersetzt ist. Offenbar ändert diese Verschiedenheit die Natur des Ausdrucks nicht, um den es sich handelt, und es geht daraus blos hervor, daß die von Girard bestimmten Werthe von $\beta$ mit $\frac{P'^2}{P^2}$ multiplicirt werden müssen, um mit der vorstehenden Theorie zu harmoniren.

Bei allen Versuchen Girards wurde der Überschuß des Drucks, welcher im Gasometer Statt hatte, über den äußern Druck durch eine Wassersäule von $0^m,03383$ Höhe gemessen. Dieser Überschuß ist klein genug, daß die Differenz des Verhältnisses $\frac{P'^2}{P^2}$ von der Einheit unterhalb $\frac{7}{1000}$ fällt. Man kann also hier die Modification vernachlässigen, welche in andern Fällen mit dem Werthe von $\beta$ vorgenommen werden müßte. Diese Werthe sind in folgender Tabelle enthalten:

| Beschaffenheit des Gases | Durchmesser der Röhre | Länge der Röhre | Werthe von $\beta$ | Mittlere Werthe von $\beta$ |
|---|---|---|---|---|
| | Meter | Meter | | |
| Atmosphärische Luft . . | 0,08121 | 128,8 | 0,005579 | |
| | | 375,8 | 0,005309 | 0,005621 |
| | | 622,8 | 0,005975 | |
| Gekohltes Wasserstoffgas | . . . . . . | 128,8 | 0,005516 | |
| | | 375,8 | 0,005539 | 0,005636 |
| | | 622,8 | 0,005854 | |
| Atmosphärische Luft . . | 0,01579 | 36,91 | 0,003307 | |
| | | 55,91 | 0,002804 | 0,003126 |
| | | 88,06 | 0,002977 | |
| | | 111,24 | 0,003317 | |
| | | 37,53 | 0,003279 | |
| | | 56,84 | 0,002992 | |
| | | 85,06 | 0,002879 | 0,003246 |
| | | 109,04 | 0,00343 | |
| | | 126,58 | 0,003362 | |
| | | 6,58 | 0,003486 | |
| Gekohltes Wasserstoffgas | . . . . . . | 37,53 | 0,003182 | |
| | | 56,84 | 0,003032 | |
| | | 85,06 | 0,003067 | 0,003219 |
| | | 109,04 | 0,003503 | |
| | | 126,58 | 0,003314 | |

Es geht aus diesen Resultaten hervor, daß die Gesetze des Ausflusses einer elastischen Flüssigkeit für eine Röhre von gegebenem Durchmesser genau durch die Formel (43) repräsentirt werden können, wenn dieser Ausfluß unter einem geringen Drucküberschuß erfolgte. Es scheint ferner, daß die Beschaffenheit des Gases keine Änderung im Werthe der Constante $\beta$ hervorbringt. Dagegen geben die in Rede stehenden Versuche verschiedene Werthe für diese Constante, je nachdem man eine Röhre von $0^m,08121$ Durchmesser oder eine viel engere Röhre von blos $0^m,01579$ Durchmesser anwendete. Indeß ist guter Grund zu der Annahme da, daß diese Verschiedenheit in dem Werthe von $\beta$ nicht von einem Fehler der Theorie abhängt, sondern vielmehr irgend einem Hinderniß der Bewegung des Gases, welches in der ersten Röhre Statt fand, beigemessen werden muß. Denn die folgenden Versuche von d'Aubuisson geben auch für Röhren von 0,10 Meter Durchmesser einen Werth von 0,00328 für $\beta$, wie wir bald sehen werden.

Man findet in den Ann. des Mines, 2e serie, 3e livr. andre sehr zahlreiche Versuche über die Bewegung der Luft in Leitungsröhren, welche im J. 1823 von d'Aubuisson angestellt worden sind. Bei einigen war die Leitungsröhre an ihrem Ende ganz offen, andremal war sie zum Theil verschlossen, so daß das Gas durch konische Mündungen von kleinerm Durchmesser, welche an die Leitungsröhre angefügt wurden, ausfloß. Es wurden die Höhen mehrerer Manometer beobachtet, welche an verschiedenen Stellen der Leitungsröhre angebracht waren, und namentlich die der äußersten Manometer, deren eins auf der Wanne des Gebläses (machine soufflante), aus welchem die Leitungsröhre entsprang, das andre am Ende dieser Röhre, unmittelbar vor der Mündungsröhre (buse), an welche die Ausflußmündung gefügt war, angebracht war. Man war bei den in Rede stehenden Versuchen nicht im Besitz der Mittel, mit hinlänglicher Genauigkeit die Quantitäten Luft zu bestimmen, welche in einer gegebenen Zeit ausflossen; wenn man jedoch mit einer Leitungsröhre operirte, die zum Theil am Ende verschlossen war, so konnte die gleichzeitige Beobachtung der am Ausgangspunkte und am Ende der Leitungsröhre vor der Ausflußmündung angebrachten Manometer für die Kenntniß des Ausflußquantums suppliren und die Mittel darbieten, aus der Beobachtung die Bestimmung des mit $\beta$ bezeichneten unbekannten Coefficienten abzuleiten. In der That es seyen H und $H_1$ die Höhen der beiden Manometer, welche den Überschuß der oben mit P und $P_1$ bezeichneten innern Druckkräfte über den äußern Druck P' messen. Offenbar werden die Höhen H und $H_1$ in demselben Verhältnisse untereinander stehen, als die oben mit $\alpha$ und $\alpha_1$ bezeichneten Brüche. Man wird also statt der Gleichung (41) schreiben können:

$$H - H_1 = H_1 \frac{\frac{2\beta\lambda\xi}{\omega} + 1 + \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2}{\frac{\omega^2}{\Omega'^2} - 1}$$

und wenn die Länge der Röhre sehr groß in Verhältniß zu ihrem Durchmesser ist:

$$H - H_1 = H_1 \frac{\frac{2\beta\lambda\xi}{\omega} \cdot \frac{\Omega'^2}{\omega^2}}{1 - \frac{\Omega'^2}{\omega^2}} \qquad (44)$$

woraus man ableitet, indem man D den Durchmesser des Querschnitts $\omega$ der Röhre und D' den Durchmesser des Querschnitts $\Omega'$ der Mündung nennt

$$8\beta = \frac{H - H_1}{H_1} \cdot \frac{D^5}{\lambda D'^4} \left(1 - \frac{D'^4}{D^4}\right) \qquad (45)$$

Die Gleichungen (44) und (45) sind denen ähnlich, welche d'Aubuisson zur Berechnung seiner Versuche angewandt hat (enthalten p. 424 der oben citirten Livraison der Ann. d. Mines). Sie unterscheiden sich von letztern bloß durch den Factor $1 - \frac{\Omega'}{\omega^2}$ oder $1 - \frac{D'^4}{D^4}$, der sich hier im zweiten Gliede findet und der von d'Aubuisson weggelassen worden ist. Indeß wird das Erforderniß dieses Factors in den in Rede stehenden Gleichungen gesichert erscheinen, wenn man in Erwägung zieht, daß man, wenn man die Röhre an ihrem Ende ganz offen annimmt, wo $\Omega' = \omega$, haben muß $H_1 = o$, welcher Bedingung die vorstehenden Gleichungen nicht mehr Genüge leisten würden, wenn der Nenner $1 - \frac{\Omega'^2}{\omega^2}$ unterdrückt würde.

Außerdem versteht sich, daß, wenn der Eintritt der Ausflußmündung $\Omega'$ nicht evasirt wäre, so daß eine äußere Contraction Statt fände, man $\Omega'$ mit dem Coefficienten m multipliciren müßte.

In den Versuchen von d'Aubuisson war die Ausflußmündung durch kleine Kegel gebildet, die an das Ende einer Ausflußröhre (buse) gefügt waren. Der zwischen der Seitenfläche und Axe dieser Kegel begriffene Winkel war sehr klein und man kann hier die äußere Contraction vernachlässigen. Indeß mußte doch die Bewegung der Luft beim Austritt aus einem Ansatzrohre dieser Art nothwendig verändert werden, und man kann diese Veränderung in Rücksicht nehmen, indem man nach den früher angeführten Versuchen annimmt, daß ihr Effect einer Verminderung der Area der Mündung im Verhältniß von 0,94 zur Einheit nahe gleich ist, wenn die Länge des Ansatzrohres etwas größer als der mittlere Durchmesser ist, wie dies wirklich Statt hatte. Hiernach wird die Gleichung (45) zu folgender:

$$8\beta = \frac{H - H_1}{H_1} \cdot \frac{D^5}{\lambda (0{,}94)^2 D'^4} \left(1 - (0{,}94)^2 \frac{D'^4}{D^4}\right)$$

und da d'Aubuisson die Gleichung

$$8\beta = \frac{H - H_1}{H_1} \cdot \frac{D^5}{\lambda D'^4}$$

angewandt hat, so folgt, daß die in den Tabellen S. 425 und 426 seiner

Abhandlung enthaltenen Werthe mit der vorstehenden Theorie übereinkommen werden, wenn man sie mit der Quantität

$$\frac{1}{(0,94)^2} - \frac{D'^4}{D^4}$$

multiplicirt.

Folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Modification:

| Durchmesser der Röhre D | Durchmesser der Mündungen D' | Erste Werthe von $8\beta$ | Zweite Werthe von $8\beta$ |
|---|---|---|---|
| Meter | Meter | | |
| 0,10 | 0,05 | 0,0222 | 0,02374 |
| | 0,04 | 0,021 | 0,02323 |
| | 0,03 | 0,0221 | 0,02483 |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02260 |
| 0,05 | 0,03 | 0,0232 | 0,02325 |
| | 0,02 | 0,0248 | 0,02748 |
| 0,0235 | 0,02 | 0,0248 | 0,01506 |

Die Columne, welche mit „erste Werthe von $8\beta$" überschrieben ist, enthält die von d'Aubuisson berechneten mittleren Resultate. Die darauf folgende Spalte enthält dieselben Resultate, auf bemerkte Weise modificirt. Der letzte weicht sehr vom mittlern Werthe ab. Hierbei ist aber in Betracht zu ziehen, daß, da der Durchmesser der Mündung hier sehr wenig von dem des Rohres abwich, die Höhe $H_1$ des Manometers, welches sich vor der Mündung befand, sehr klein war und daß mithin ein kleiner Irrthum in der absoluten Höhe dieses Manometers einen großen Irrthum im correspondirenden Werthe von $8\beta$ nach sich ziehen mußte. Schließt man aus diesem Grunde letzteren Werth aus, so findet man 0,0222 als Mittel der von d'Aubuisson gegebenen Werthe und 0,0242 als Mittel dieser modificirten Werthe. Diese Modification geht also dahin, den vom Verfasser angenommenen Werth im Verhältniß von $\frac{121}{111}$ zu vergrößern. Man kann p. 428 nnd 429 der in Rede stehenden Abhandlung die Gründe nachlesen, zufolge deren d'Aubuisson für den Coefficienten den Werth 0,0238 angenommen hat. Wir müssen hier dieselbe Zahl annehmen, multiplicirt mit dem vorstehenden Verhältnisse, d. h. wir werden setzen $8\beta = 0,02594$, mithin $\beta = 0,00328$. Dies Resultat differirt nicht merklich von den Werthen, welche aus den Versuchen Girards über das kleine Rohr von 0,01579 Meter hervorgehen. Die Übereinstimmung dieser Fälle, welche auf verschiedenartigen Wegen erhalten wurden, scheint Bürge zu sein, daß die vorstehende Theorie bei Setzung von $\beta = 0,00324$ die Erscheinungen mit hinlänglicher Genauigkeit repräsentirt.

Faßt man das Vorstehende zusammen und zieht in Betracht, daß man hat

$$\frac{P - P'}{P'} = \frac{H}{h}, \text{ wo } H$$

wie oben die Höhe des Manometers bedeutet, welche den Überschuß des im Gasometer Statt findenden Druckes über den atmosphärischen Druck mißt, und h die Barometerhöhe, welche letztern Druck mißt, so erhellt, daß das unter dem Druck im Gasometer gemessene Luftvolumen, welches in 1 Secunde durch eine Röhre ausfließt, welche ihren Ursprung in einem Gasometer nimmt, wie in Fig. 35., deren Querschnitt sehr klein im Verhältniß zum Querschnitt des Reservoirs ist, und die sich mit einer Mündung endigt, welche kleiner als der Querschnitt dieser Röhre ist, durch die Formel ausgedrückt wird:

$$\frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{H}{h+H} \sqrt{\frac{2k}{\frac{8\beta\lambda}{D} + \frac{D^4}{D'^4} + \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2} \cdot \frac{H}{h}} \qquad (46)$$

worin D den Durchmesser der Röhre, D′ den Durchmesser der Mündung, in welche sich diese Röhre endigt und aus welcher das Gas ausfließt, bedeutet. Hierbei ist vorausgesetzt, daß die Wand beim Eingang dieser Mündung evasirt ist, wie Fig. 35. anzeigt; sonst, wenn die Wand der Mündung eine solche Gestalt hätte, daß der Ausfluß des Gases im Verhältniß des Bruches m′ zur Einheit verkleinert wird, müßte man $m'^2 D'^4$ anstatt $D'^4$ schreiben. Die Länge der Röhre wird mit $\lambda$ bezeichnet. Der Bruch m stellt das Verhältniß vor, nach welchem sich der Gasstral beim Austritt aus dem Reservoir in die Röhre zusammenzieht. k ist ein Coefficient, dessen Werth sich für jedes Gas ändert und von der Temperatur abhängt. Dieser Werth muß für jeden Fall besonders berechnet werden, gemäß dem, was S. 48 bemerkt ist. Endlich $\beta$ ist eine Constante, deren Werth merklich gleich 0,00324 ist, den Meter und die Sexagesimalsecunde als Einheiten angenommen. Die Höhe H des Manometers ist hierbei als sehr klein gegen die Höhe h des Barometers angenommen.

Wenn die Röhre sich an dem Ende, durch welches das Gas ausfließt, nicht verengert, so reducirt sich die Formel auf

$$\frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{H}{h+H} \sqrt{\frac{2k}{\frac{8\beta\lambda}{D} + 1 + \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2} \cdot \frac{H}{h}} \qquad (47)$$

und endlich, wenn die Länge der Röhre sehr groß in Verhältniß zu ihrem Durchmesser ist, so hat man im letzten Falle für den Ausdruck des in Rede stehenden Volumens bloß

$$\frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{H}{h+H} \sqrt{\frac{k D H}{4\lambda\beta h}} \qquad (48)$$

Sollen diese Formeln eine genaue Anwendung finden, so muß man in jedem besondern Falle die Beobachtungen des äußeren Barometerstandes und der Temperatur zuziehen. Vernachlässigt man diese Beobachtungen und nimmt mittlere Werthe für die mit h bezeichnete Barometerhöhe und für den Werth des von der Temperatur abhängigen Coefficienten k an, so werden die vorstehenden Formeln wenig von denen abweichen, die d'Aubuisson in der schon angeführten Abhandlung gegeben hat.

---

# XII. Von den Dämpfen.

## (Abhängigkeit der Spannkraft und Dichtigkeit der Dämpfe von der Temperatur. Dampfmaschinen. Verdunstungsproceß. Hygrometer.)

---

### Spannkraft des Wasserdampfes.

Über die Spannkraft des Wasserdampfes, nach dem Berichte von Dulong und Arago *). Da es (mit Ausnahme der Arzbergerschen Versuche, Biot I., 304) bis jetzt noch an genauen Versuchen über die Spannkraft des Wasserdampfes bei hohen Temperaturen fehlte, indem diese Versuche nicht über Spannkräfte von 8 Atmosphären hinausgingen, so veranlaßte die französische Regierung die königliche Akademie der Wissenschaften, eine Commission ihrer Mitglieder zu ernennen, welche sich diesen Untersuchungen unterzöge, hauptsächlich aus dem fühlbar gewordenen Bedürfnisse, festere Bestimmungen über die bei den Dampfmaschinen zu nehmenden Sicherheitsmaßregeln zu geben, bei welchen die Kenntniß jener Spannkräfte für hohe Temperaturen erforderlich wird.

Die Akademie ernannte zur Ausführung dieser Versuche die Herrn Prony, Arago, Ampère, Girard und Dulong **). Dieselben dehnten ihre Versuche bis auf Spannkräfte von 24 Atmosphären aus, indem sie dabei alle Umsicht und Sorgfalt anwandten, welche Untersuchungen von so großem theoretischen und praktischen Gewichte verdienten. Wir werden nachher den Gang der von ihnen angewandten Verfahrungsarten angeben, wollen jedoch die von ihnen erhaltenen Resultate selbst voranstellen.

Diese Resultate sind in folgender Tabelle vereinigt. Allerdings enthält diese nicht die directen, von 2,14 bis 23,994 Atmosphären gehenden, an

*) Ann. de Chim. et de Phys. XLIII. 74. oder Mém. de l'Acad. d. Scienc. X. 1831. p. 193 oder Schweigg. J. LIX. 167.

**) Dies waren mindestens die Mitglieder, aus denen die Commission zuletzt bestand, denn sie erlitt während ihrer Dauer einige Änderungen im Bestande ihrer Mitglieder.

Zahl 30 betragenden Beobachtungen, sondern Werthe, welche durch Interpolation der wirklichen Beobachtungen nach den untenstehenden Formeln *) gefunden und noch bis zu 50 Atmosphären fortgesetzt sind.

Da indeß die nach diesen Formeln berechneten Werthe so genau mit dem Werthen der Beobachtungen innerhalb des von ihm begriffenen Intervalls übereinstimmen, daß die größte Abweichung 0,°4 beträgt, während alle übrigen fast nur die Größe von 0,1° erreichen, so kann man die obigen Werthe mit Fug als den wirklich beobachteten äquivalent setzen und vermuthen, daß auch die über die beobachteten Werthe hinausliegenden Werthe von 25 bis 50 Atmosphären merklich mit den wahren übereinstimmen **).

*) Von 1 bis einschließlich 4 Atmosphären ist die Berechnung nach Tredgolds Formel (weil diese hier besser als die eigene der Verfasser mit den Beobachtungen stimmt, geschehen,) welche folgende ist:

$$t = 85 \sqrt[6]{f} - 75,$$

worin t die Temperatur in Graden der Centesimalscale von 0° an, f die Spannkraft in Centimetern Quecksilberhöhe bezeichnet.

Im übrigen Theil der Tafel dagegen, von 5 bis 50 Atmosphären, ist nachstehende, von den Verfassern selbst gegebene Formel, zu Grunde gelegt:

$$t = \frac{\sqrt[5]{f} - 1}{0{,}7153}$$

wo t die Temperatur in Graden der Centesimalscale angiebt, indem man das Intervall von 100° als Einheit ansieht und mit f die Elasticität in Atmosphären von 0,76$^m$ bezeichnet.

**) In der That ist der in der Formel enthaltene Coefficient mit Hülfe des letzten Gliedes der Beobachtungsreihe entwickelt, und nach seiner Übereinstimmung mit den frühern Gliedern läßt sich daher an seiner weitern Anwendbarkeit nicht zweifeln.

Tafel der Elasticität des Wasserdampfes und der entsprechenden Temperatur von 1 bis zu 50 Atmosphären.

| Elasticität des Dampfes in Atmosphärendrucken. | Länge der Quecksilbersäule bei 0°, welche dem Dampfe das Gleichgewicht hält. | Entsprechende Temperaturen nach dem hundertheiligen Quecksilberthermometer. | Druck auf einen Quadratcentimeter in Kilogrammen. |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,96 | 100° | 1,033 |
| 1½ | 1,14 | 112,2 | 1,549 |
| 2 | 1,52 | 121,4 | 2,066 |
| 2½ | 1,90 | 128,8 | 2,582 |
| 3 | 2,28 | 135,1 | 3,099 |
| 3½ | 2,66 | 140,6 | 3,615 |
| 4 | 3,04 | 145,4 | 4,132 |
| 4½ | 3,42 | 149,06 | 4,648 |
| 5 | 3,80 | 153,08 | 5,165 |
| 5½ | 4,18 | 156,8 | 5,681 |
| 6 | 4,56 | 160,2 | 6,198 |
| 6½ | 4,94 | 163,48 | 6,714 |
| 7 | 5,32 | 166,5 | 7,231 |
| 7½ | 5,70 | 169,37 | 7,747 |
| 8 | 6,08 | 172,1 | 8,264 |
| 9 | 6,84 | 177,1 | 9,297 |
| 10 | 7,60 | 181,6 | 10,330 |
| 11 | 8,36 | 186,03 | 11,363 |
| 12 | 9,12 | 190,0 | 12,396 |
| 13 | 9,88 | 193,7 | 13,429 |
| 14 | 10,64 | 197,19 | 14,462 |
| 15 | 11,40 | 200,48 | 15,495 |
| 16 | 12,16 | 203,60 | 16,528 |
| 17 | 12,92 | 206,57 | 17,561 |
| 18 | 13,68 | 209,4 | 18,594 |
| 19 | 14,44 | 212,1 | 19,627 |
| 20 | 15,20 | 214,7 | 20,660 |
| 21 | 15,96 | 217,2 | 21,693 |
| 22 | 16,72 | 219,7 | 22,726 |
| 23 | 17,48 | 221,9 | 23,759 |
| 24 | 18,24 | 224,2 | 24,792 |
| 25 | 19,00 | 226,3 | 25,825 |
| 30 | 22,80 | 236,2 | 30,990 |
| 35 | 26,60 | 244,85 | 36,155 |
| 40 | 30,40 | 252,55 | 41,320 |
| 45 | 34,20 | 259,52 | 46,485 |
| 50 | 38,00 | 265,89 | 51,650 |

Die Art, wie die Verfasser ihre Versuche anstellten, war folgende, wobei wir die Details übergehen, die wir jedoch allen denen nachzulesen empfehlen, die sich überzeugen wollen, wie viel Sorgfalt die Verfasser auf die in Rede stehenden Versuche wandten und wie viel Zutrauen dieselben mithin verdienen.

Die Verfasser wiesen zuvörderst mittelst sehr im Großen ausgeführter Apparate nach, daß das Mariottische Gesetz bis auf Drucke von 27 Atmosphären als zuverlässig angesehen werden kann, so daß eine Luftmasse genau nach Verhältniß des auf ihr lastenden Druckes sich in einen engern Raum zusammenzieht. Nachdem dieser Punkt erwiesen war, wurde zum Maße der Spannkraft des Dampfes die Beobachtung des Luftvolumens angewandt, welches in einem mit dem Dampfkessel in Verbindung gesetzten *) Manometer enthalten war. Die Beobachtung der Temperatur geschah mittelst zweier Thermometer, die, um ihr Zerbrechen oder ihre Compression zu vermeiden, nicht dem Drucke des Dampfes unmittelbar ausgesetzt waren, sondern sich im Innern zweier in den Dampfkessel eingeführten, mit Quecksilber gefüllten, Flintenläufe befanden, deren einer bis auf den Boden des Kessels, der andere nicht bis über $\frac{1}{4}$ seiner Tiefe hinabging. Das kürzere sich über der Oberfläche des Wassers befindende Thermometer war bestimmt, die Temperatur des Dampfes, das längere die des noch tropfbaren Wassers anzuzeigen, wobei Bedacht genommen wurde, die Versuche so anzustellen, daß sich die Temperatur nur sehr langsam änderte. Auch wurde die Correction wegen des Temperaturunterschiedes des nach außen hervorragenden Theils der Thermometer von den in dem Kessel befindlichen Theilen nicht vernachlässigt und mittelst eigenthümlicher Anordnungen die Genauigkeit derselben möglich gemacht **).

Es verdient Bemerkung, daß die Resultate, welche die Verfasser auf solchem Wege gefunden haben, eine überraschende Übereinstimmung mit den von Southern und Taylor, so weit deren Versuche gehen, gefundenen Resultaten zeigen ***).

*) Diese Verbindung geschah durch eine mit Wasser gefüllte Röhre, welche durch einen darauf fallenden Wasserstral kalt erhalten wurde.

**) Beide Thermometer stimmten im Allgemeinen so gut überein, als sich bei Untersuchungen dieser Art erwarten läßt. Der größte Unterschied beider betrug 0,°7.

***) In Bezug auf die Arzbergerschen Resultate, die in Deutschland eines großen Zutrauens genießen, bemerken die Verfasser Folgendes:

„Erst seit Kurzem haben wir in den Jahrbüchern des polytechnischen Institutes zu Wien eine sorgfältige Reihe von Versuchen kennen gelernt, welche Arzberger, Professor an diesem Institute, angestellt hat. Die Elasticität des Dampfes wurde hier durch den Druck auf ein mit Gewichten beschwertes Ventil gemessen. Obgleich dieses Verfahren stets eine geringere Genauigkeit verstattet als das von uns angewendete, so darf man doch annehmen, daß die Anordnung eines kugelförmigen stählernen Ventiles, welches auf einer kreisförmigen Öffnung in einem andern Stücke von demselben Metalle ruhte, und die vollkommene Ausführung aller übrigen Theile des Apparates, sehr viel zur Verminderung der

Ein Gesetz, welches den Zusammenhang zwischen Temperatur und Druck der Dämpfe (die hier stets als den Raum bis zur Sättigung ausfüllend angenommen sind) ergäbe, geht übrigens aus den Resultaten der Verfasser eben so wenig hervor, als aus den älteren, bei geringeren Temperaturen angestellten Versuchen. In Ermangelung desselben haben die Verfasser verschiedene Interpolationsformeln geprüft, welche zur Darstellung dieses Zusammenhanges vorgeschlagen worden sind, namentlich die von Prony, Laplace und Biot, Ure, Roche, August, Tregaskis, Young, Creigthon, Southern, Tredgold, Coriolis. Wir verweisen in diesem Bezuge und hinsichtlich der Gründe, welche die Verfasser bestimmt haben, zuletzt bei den S. 174 angegebenen Formeln, die indeß auch nur als empirisch angesehen werden können, stehen zu bleiben, auf die Originalabhandlung*). Doch wollen wir über die von Tregaskis, Schitko und Roche, da sie erst neuerdings bekannt geworden, das Nähere in Folgendem selbst referiren.

## Formeln zur Bestimmung der Spannkraft des Wasserdampfes.

a) Von Tregaskis **).

Tregaskis glaubt aus ältern Beobachtungen folgern zu können, daß die Spannkraft eine geometrische Reihe bilde, deren Exponent 2 ist, während die Temperaturen gleichfalls in einer geometrischen Reihe fortgehen, deren Exponent 1,2 ist. Indeß genügt nicht nur die hiernach entwikkelte Formel nicht den in höheren Temperaturen angestellten Beobachtungen, sondern es kann auch, wie sich Dulong und Arago durch Be-

Fehler beitrugen; aber wir glauben, daß die Angabe der Temperatur stets zu groß sei. Da nämlich die Kugel des Thermometers unmittelbar ins Wasser getaucht wurde, so mußte ihre Capacität durch den großen Druck vermindert werden, und das Instrument zeigte einen zu hohen Wärmegrad an. Dieser Fehler, dessen Größe wir nicht beurtheilen können und welcher sich mit der Dicke einer jeden Kugel ändert, würde ohne Zweifel noch stärker gewesen sein, wäre er nicht von einem andern entgegengesetzten zum Theil compensirt worden. Die Röhre des Instrumentes, welche horizontal aus dem Dampfkessel hervorragte, konnte an der Erwärmung der Kugel keinen Antheil nehmen, und bennoch giebt der Verfasser keine Correction für diesen Fehler an. Es ist daher sehr wahrscheinlich, daß die größte von Arzberger beobachtete Elasticität nur etwa 20 Atmosphären betrug; für diese Spannung giebt er eine Temperatur von 222°, welcher unseren Versuchen zufolge ein Druck von 23 Atmosphären entspricht. Bei allen übrigen Messungen findet derselbe Fehler Statt, welcher jedoch zugleich mit den Spannungen kleiner wird.

*) Die Meyersche Formel (Biot I. 302) scheint sich den Versuchen der französischen Physiker nicht zu fügen; mindestens habe ich gefunden, daß, wenn man die Constanten dieser Formel nach jenen Versuchen berechnet, die Spannkräfte für niedere Temperaturgrade nicht dadurch genau genug repräsentirt werden, auch findet ein merklicher Unterschied der Constanten Statt, je nachdem man sie aus den niedern oder höhern Beobachtungen der französischen Physiker selbst ableitet.

**) Edinb. J. of Sc. Nr. XIX. p. 68 oder Baumg. Zeitschr. VI. 250.

rechnung selbst überzeugt haben*), die Änderung in der Elasticität des Dampfes überhaupt nicht durch die Verbindung von zwei geometrischen Reihen dargestellt werden.

b) Von Schitko**).

Nach Schitko's, auf allgemeinere theoretische Betrachtungen gestützter, Herleitung kann die Spannkraft des Wasserdampfes E für verschiedene Temperaturen durch folgende Formel ausgedrückt werden:

$$\log. E = 4 \log. x + \log. (1 + 0{,}00275038\ x) + 0{,}0017256\ x - 7{,}8404207$$

Die Spannkraft des Wasserdampfes beim Siedepunkt ist hier als Einheit gesetzt, und es wird x durch folgende Hülfsformel bestimmt:

$$x = \frac{-1 + \sqrt{1 + 153{,}785050506 \log.^{***)} (1 + 0{,}00018018\ y)}}{0{,}00599839}$$

wo y Centesimalgrade des Quecksilberthermometers sind, oder durch folgende:

$$x = \frac{\log. (1 + 0{,}00375\ y')}{0{,}00172556}$$

wo y' Centesimalgrade des Luftthermometers sind.

Die nach dieser Formel berechneten Spannkräfte stimmen sehr wohl mit den von Ure und Arzberger erhaltenen Resultaten überein, wie aus der beigefügten Tabelle erhellt; sie geben aber zu niedrige Spannkräfte, wenn man sie mit den vorherangeführten Resultaten der französischen Physiker vergleicht.

*) Schweigg. J. LIX. 205.

**) Baumgart. und Ettingh. Zeitschrift VI. 257.

***) Gewöhnlicher Logarithmus.

**Vergleichung der durch Versuche und Berechnung aufgefundenen Resultate über die Kraft der Wasserdämpfe.**

| Temperatur. Centes.° | Nach Schitko's Formel. | Nach Ure. | Arzberger. | Christian. | Schmidt. | Betancourt. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| 105 | 1,1997 | 1,2120 | 1,1872 | 1,1671 | 1,2136 | 1,2356 |
| 110 | 1,4269 | 1,4372 | 1,4016 | 1,3661 | 1,4371 | 1,5074 |
| 115 | 1,6836 | 1,6882 | 1,6466 | 1,5990 | 1,7150 | 1,8033 |
| 120 | 1,9721 | 1,9845 | 1,9291 | 1,8695 | 2,0253 | 2,1606 |
| 125 | 2,2949 | 2,2953 | 2,2432 | 2,1903 | 2,3928 | 2,5550 |
| 130 | 2,6540 | 2,6737 | 2,5879 | 2,5642 | 2,7935 | 3,0000 |
| 135 | 3,0522 | 3,1206 | 2,9822 | 3,0009 | 3,2877 | 3,3291 |
| 140 | 3,4918 | 3,6235 | 3,4197 | 3,5130 | 3,8993 | |
| 145 | 3,9754 | | 3,9089 | 4,1120 | | |
| 150 | 4,5020 | | 4,4701 | 4,8125 | | |
| 155 | 5,0849 | | 5,0423 | 5,4531 | | |
| 160 | 5,7163 | | 5,6952 | 6,2753 | | |
| 165 | 6,4023 | | 6,4141 | 6,6937 | | |
| 170 | 7,1459 | | 7,1997 | 7,6927 | | |
| 175 | 7,9499 | | 8,0316 | | | |
| 180 | 8,7677 | | 8,9892 | | | |
| 185 | 9,7507 | | 10,0000 | | | |
| 190 | 10,7535 | | 11,0910 | | | |
| 195 | 11,8287 | | 12,2724 | | | |
| 200 | 12,9794 | | 13,5441 | | | |

c) Von Roche *).

Roche gründet auf theoretische Betrachtungen folgende Formel:

$$E = 10^{\frac{n\,x}{11 + 0{,}3\,x}}$$

wo E die Expansivkraft des Wasserdampfes für x Centesimalgrade über 100° und n ein durch Versuche zu bestimmender constanter Coefficient (für Wasser = 0,167) ist. Diese Formel würde die Expansivkraft des Wasserdampfes nicht bis ins Unbestimmte mit der Temperatur wachsen lassen, sondern ein Maximum geben, welches ist:

$$E = 10^{\frac{n}{0{,}03}}$$

Der Verfasser bemerkt in Bezug auf den Umstand, daß die Resultate der Versuche der französischen Commission nach dem Berichte von Dulong dieser Formel nicht ganz entsprechen (wiewohl es eine von denen sei, die diesen Resultaten am nächsten kommen), so rühre dies daher, 1) daß die Resultate der französischen Commission sich auf das Quecksilberthermometer beziehen, das über 100° C. stets höhere Anzeigen giebt als das Luftther-

*) Bull. univ. d. sc. math. 1830. Mars. p 193.

mometer, für welches die Formel gilt; 2) daß die Berichterstatter für den Werth von n angenommen haben 0,1644, während der Werth 0,167 der Übereinstimmung mit den Versuchen günstiger sei. Berücksichtige man diese Umstände, so entspreche seine Formel merklich den Resultaten der französischen Commission. Eine Berechnung zum Belege in dieser Hinsicht ist indeß nicht beigefügt, daher sich die Richtigkeit dieser Behauptung nicht ohne Weiteres verbürgen läßt.

## Spannkraft des Dampfes von tropfbar gemachten Gasen.

Bekanntlich hat Faraday die Erfahrung gemacht, daß mehrere, früher für permanent gehaltene, Gase sich durch starken Druck, besonders wenn niedere Temperatur zu Hülfe genommen wird, zu tropfbaren Flüssigkeiten verdichten lassen, und er hat bei dieser Gelegenheit den Druck bestimmt, den die Dämpfe dieser Flüssigkeiten bei gewissen Temperaturen äußern. Dasselbe ist neuerdings von Riemann (Brandes Arch. XXXVI. S. 175) geschehen. Hier stehen ihre Resultate zusammengestellt:

| Namen des Gases. | Druck in Atmosphären. | Temperatur R. | Beobachter. |
|---|---|---|---|
| Stickstoffoxydul . . . | über 50 Atm. | + 5°,7 | Faraday. |
| Ammoniak . . . . . | $6\frac{1}{2}$ | 8° | Faraday. |
| | $6\frac{1}{2}$ bis 7 | 10° | Riemann. |
| Chlor . . . . . . . . | 4 | 12°,4 | Faraday. |
| | $8\frac{1}{2}$ | 10° | Riemann. |
| | $6\frac{1}{2}$ | 0° | Riemann. |
| Euchlor . . . . . . . | $8\frac{3}{4}$ | 12° | Riemann. |
| Chlorichte Säure . | 60 | 10° | Riemann. |
| Salzsäure . . . . . . | ungefähr 40 | 8° | Faraday. |
| | genau 40 | 10° | Riemann. |
| | 33 | 0° | Riemann. |
| Schweflichte Säure . | ungefähr 2 | 5°,7 | Faraday. |
| | 3 | 10° | Riemann. |
| Schwefelwasserstoffsäure | 17 | 8° | Faraday. |
| | 58 *) | 10° | Riemann. |
| | 54 | 0° | Riemann. |
| Kohlensäure . . . . . | 36 | 0° | Faraday. |
| | 40 | 0° | Riemann. |
| | 58 bis 60 | 10° | Riemann. |
| Cyan . . . . . . . . . | 4 | 10° | Riemann. |

*) Diese Angabe steht im Original S. 206, dagegen steht S. 192 50 Atmosphären.

Wie man sieht, findet in Bezug auf das Ammoniak, die Kohlensäure, die Salzsäure und die schweflichte Säure (mit Rücksicht auf die Temperaturverschiedenheit) eine ganz gute Übereinstimmung beider Beobachter Statt; eine desto größere Abweichung aber in Bezug auf das Chlor und die Schwefelwasserstoffsäure.

## Dichtigkeit des Wasserdampfes, von Schitko *).

Schitko hat nach theoretischen Betrachtungen für die Dichtigkeit d des Wasserdampfes folgende Formel entwickelt:

$$\log. d = 4 \log. x + \log. (1 + \gamma x) - 7{,}7021180$$

worin x auf die Seite 178 angegebene Weise bestimmt, $\gamma = 0{,}0027501$ ist, und die Dichtigkeit des Dampfes sich auf die beim Siedpunkte als Einheit bezogen findet.

Die Versuche, die man über die Dichtigkeit des Dampfes bisher angestellt hat, beziehen sich auf Temperaturen unter dem Siedepunkte. Southern hat indeß diese Bestimmung auch für höhere Wärmegrade aus der Menge des Dampfes zu erhalten gesucht, die einen Stiefel von gemessenem Inhalt füllte. Seine absoluten Bestimmungen sind, so wie sie in Gehlers physik. Wörterb. II. 380 angegeben sind, nebst den nach Schitko's Formel berechneten Resultaten in der nachstehenden Tabelle enthalten:

| Temperatur, angegeben im Centes.° Quecksilberthermometer. | Dichte des Dampfes. | | Differenzen. |
|---|---|---|---|
| | Beobachtet. | Berechnet. | |
| 109,4444 | 0,000827 | 0,000838 | 0,000010 |
| 132,2222 | 0,001701 | 0,001597 | 0,000104 |
| 146,1111 | 0,002476 | 0,002236 | 0,000240 |

Die Versuche geben zwar etwas größere Werthe in höheren Temperaturen als die Berechnung, indeß bringt Schitko die Bemerkung in Anschlag, daß Southern die Dichtigkeit des Dampfes auf die angegebene Weise in höheren Temperaturen auf keinen Fall zu klein finden konnte, wohl aber zu groß, wenn adhärirendes oder mechanisch fortgerissenes Wasser mit in den Stiefel eindrang.

Man hat bisher die Dichtigkeit des Dampfes aus dessen absoluter Elasticität gewöhnlich nach der Formel $d = A \frac{E}{213 + t}$ zu bestimmen gesucht, wo t die Wärmegrade nach der 80theiligen Scale, E die Elasticität des Dampfes und A eine durch Versuche zu bestimmende Größe bedeutet. Munke hat diese Formel den von ihm in 16 Versuchen gemessenen

*) Baumg. und Ett. Zeitschr. VI. 261.

Dichtigkeiten des Wasserdampfes angepaßt und sie den erhaltenen Resultaten angemessen gefunden, jedoch in der Art, daß der für den Factor A gefundene Werth in höheren Temperaturen vermindert werden sollte, wornach die Formel die Gestalt $d = A\,(1 - w\,t)\,\frac{E}{213 + t}$ erhalten würde, ohne daß es ihm möglich schien, den Werth von w aus seinen Versuchen mit Sicherheit zu bestimmen, indem dieselben nur die Temperaturen von 0° bis 35° R. umfaßten. Bei nochmaliger Revision der erhaltenen Größen und einer Vergleichung derselben mit den durch andere Physiker, namentlich durch Southern, für höhere Temperaturen gefundenen Dichtigkeiten fand er die Übereinstimmung zwischen den durch Beobachtung und Rechnung gefundenen Werthen noch genauer, wenn in der Formel für die Elasticitäten die durch Arzberger gefundenen Constanten aufgenommen und mit den auf diese Weise erhaltenen Werthen von E die Dichtigkeiten berechnet werden. Er glaubt daher A unbedenklich = 0,0064106984... oder kürzer = 0,0064107 nehmen zu können, wornach ohne Einführung des Factors (1 — wt) die Formel $d = 0{,}0064107\,\frac{E}{213 + t}$ die Dichtigkeiten sehr genau gebe. In der nachstehenden Tabelle sind die Resultate, die sich aus dieser und der von Schitko angegebenen Formel ergeben, zusammengestellt.

| Temperatur. | Dichtigkeit des Dampfes | |
|---|---|---|
| | nach Munke. | nach Schitko's Formel. |
| 100 | 0,000613 | 0,000613 |
| 105 | 0,00072 | 0,00073 |
| 110 | 0,00084 | 0,00085 |
| 115 | 0,00097 | 0,00099 |
| 120 | 0,00112 | 0,00115 |
| 125 | 0,00128 | 0,00132 |
| 130 | 0,00147 | 0,00151 |
| 135 | 0,00167 | 0,00171 |
| 140 | 0,00189 | 0,00194 |
| 145 | 0,00213 | 0,00218 |
| 150 | 0,00240 | 0,00244 |
| 155 | 0,00269 | 0,00272 |
| 160 | 0,00300 | 0,00302 |
| 165 | 0,00334 | 0,00335 |
| 170 | 0,00370 | 0,00370 |
| 175 | 0,00410 | 0,00407 |
| 180 | 0,00452 | 0,00444 |
| 185 | 0,00497 | 0,00488 |
| 190 | 0,00546 | 0,00533 |
| 195 | 0,00597 | 0,00580 |
| 200 | 0,00652 | 0,00630 |

Die nach Schitko's Formel berechneten Werthe sind in den niederen Temperaturen etwas größer und nehmen sodann bei höheren Wärmegraden allmählig ab, welches mit Munkes Bemerkung, daß der Factor A bei höheren Temperaturen abnehmen sollte, zusammenstimmt.

## Erzeugung von Dampf durch glühendes Eisen.

Johnson hat durch eine Reihe von Versuchen, bei welchen Eisenproben von verschiedener Temperatur in kochendes Wasser eingetaucht wurden, gefunden, daß binnen einer gegebenen Zeit durch Eisen, welches in dem Grade glühete, daß die Röthung bei Tageslicht eben sichtbar war, mehr Dampf erzeugt ward, als durch dasselbe Eisen, wenn es weißglühend war*). Der erzeugte Dampf steht mit dem Gewichte des Metalles in geradem Verhältniß und beträgt (in welcher Zeit?) auf 9 Pfund Eisen etwa 1 Pfund. Bei der Vergleichung von Guß- mit Hammer-Eisen ergab sich, daß das erstere, auf dieselbe Temperatur erhitzt, mehr Dampf erzeugt als das letztere, indem auf 8¼ Pfund Eisen etwa 1 Pfund Dampf kam. Näheres ist nicht angeführt. (Frorieps Not. Nr. 2. des XXXI. Bandes aus Sillim. Journ. Vol. XIX. p. 292.)

## Siedpunct einiger Flüssigkeiten.

Nach Marx (Schweigg. LVII. 402) finden für eine Lösung von salpetersaurem Natron bei 28″ 4‴ Druck folgende Verhältnisse Statt:

Eine Lösung, gesättigt bei

| | | | |
|---|---|---|---|
| 16°,8 C. | siedet bei | | 101° C. |
| 56°,2 C. | — | — | 102,2 |
| beim Sieden | — | — | 121 |

Nach demselben siedet eine bei 15° C. gesättigte Kochsalzauflösung bei 107°,4 C. und der Siedepunkt ist auch bei einer bei 100° gesättigten Auflösung wenig oder gar nicht höher**). Eine bei 15° C. gesättigte Salpeterlösung siedet bei 101°,4 und eine bei 100° C. gesättigte Lösung bei 112° C.

# Dampfmaschinen.

Eine Geschichte der Dampfmaschinen findet sich im Quart. J. of Sc. 1829. April. 322. Eine sehr interessante Übersicht derjenigen Explosionen

*) Die sich in der Originalnotiz findende Erklärung dieses Umstandes, dies könne daher rühren, daß die größere Quantität Dampf, die sich anfänglich um das weißglühende Eisen bildet, eine Atmosphäre um dasselbe erzeuge, und auf diese Weise verhindere, daß das Wasser mit dem Eisen in Berührung komme, scheint mir ziemlich sonderbar; denn nach demselben Grundsatze müßten z. B. zwei Metalle stärker bei Berührung mit einander elektrisch werden, wenn ihr elektromotorischer Gegensatz kleiner als wenn er größer ist, weil eine größere Quantität entwickelter Elektricität die fernere Entwickelung mehr beschränkt. Wahrscheinlicher scheint mir, daß dieser Umstand, wenn er richtig ist, mit dem bekannten Leidenfrostschen Phänomen zusammenhängt. F.

**) Was auch sehr natürlich ist, da die Auflöslichkeit des Kochsalzes in höhern und niedern Temperaturen gleich ist. F.

von Dampfmaschinen, deren Verlauf bewährte Ingenieure beobachtet und berichtet haben, theilt Arago mit in Pogg. XVIII. 187, 415 oder Baumg. Zeitschr. VII. 477. Letztere übersicht kann selbst wichtig genannt werden, da sie auf die Umstände, welche zur Entstehung von dergleichen Unfällen Anlaß geben, besonders aufmerksam machte. Auch eine Abhandlung in Dinglers polyt. J. XXXIX. S. 88 verdient in letzterem Bezuge angeführt zu werden. — Die Instruction, welche das französische Ministerium über die bei Dampfboten zu beobachtenden Maßregeln gegeben hat, findet sich in Dinglers polyt. J. XL. 389.

Ursachen, welche die Explosion von Dampfkesseln, die durch Papin'sche Sicherheitsventile geschützt sind, bewirken können, von Arago *). Die nachstehende Zusammenstellung wird, ohne durchgängig Neues zu enthalten, doch nicht ohne Interesse für den Leser sein.

Das Papin'sche Sicherheitsventil oder Sicherheitsklappe an den Dampfkesseln besteht bekanntlich aus einer mit Gewichten zu belastenden Platte, welche über ein Loch von etwa 1 Quadratcentimeter, das in der Decke des Kessels angebracht ist, gelegt wird. Nun scheint es offenbar, daß, so lange der innere Druck auf 1 Quadratcentimeter kleiner als das Gewicht der Klappe plus dem der Atmosphäre ist, das Loch verschlossen bleiben, sich aber sofort öffnen und dem Dampfe freie Bahn gewähren wird, wenn der innere Druck dies Gewicht übersteigt. Welches nun sind die Ursachen, daß ein so vernünftiges, einfaches, leicht ausführbares Mittel doch nicht in allen Fällen unfehlbar ist? Es lassen sich in diesem Bezug hauptsächlich folgende anführen:

1) Adhärenz oder zu starke Belastung des Ventils;

2) eine für den plötzlich und in großer Menge entwickelten Dampf zu kleine Öffnung des Ventils, besonders mit Rücksicht auf die bekannten Erscheinungen, nach denen eine Platte gegen die Öffnung, aus welcher Dampf ausströmt, unter gewissen Umständen angezogen wird und mithin den freien Austritt des Dampfes beschränken kann;

3) eine zu geringe Festigkeit des Kessels, besonders mit Rücksicht, a) daß man die Dampfkessel auf ihre Festigkeit in gewöhnlicher Temperatur zu prüfen pflegt, da doch ihre Festigkeit in der Hitze sehr abnimmt; b) daß die Prüfungen bloß mittelst allmählig zunehmenden Druckes geschehen, eine plötzlich vermehrte Elasticität der Dämpfe, die manchmal erfolgen kann, aber einen viel größern Effect ausüben muß, und c) daß ein Kessel, der neu eine hinlängliche Haltbarkeit besitzt, doch durch Abnutzung solche verlieren kann;

4) eine plötzliche Condensation des Dampfes im Kessel (z. B. durch kaltes Wasser, was auf den Kessel geschüttet wird), wegen der dadurch bewirkten Luftleere im Kessel, vermöge deren nun die Atmosphäre einen plötz-

*) Pogg. XX. 300. Baumg. Zeitschr. VII. 488.

lichen Druck von außen nach innen äußert, dem von innen kein Gegengewicht gehalten wird;

5) unter gewissen Umständen, namentlich bei niedrigem Wasserstande im Kessel und starker Erhitzung der über dem Niveau des Wassers befindlichen Theile des Kessels, sogar eine Öffnung der Klappe, zufolge der nachher beizufügenden Erörterungen;

6) die Bildung einer steinigen Kruste auf dem Boden des Kessels aus den Salzbestandtheilen des Wassers;

7) eine Bildung explodirender Gemenge in dem Kessel ist zwar als Grund angeführt worden, läßt sich jedoch triftigerweise nicht annehmen.

Zu 1). Eine Adhäsion der Sicherheitsklappe an den Wandungen des Kessels wird leicht durch Rosten derselben bewirkt, besonders wenn die Wirkung desselben durch Ruhe unterstützt wird, und die Folge davon kann begreiflich die sein, daß sie sich erst bei höherem Drucke hebt, als bei dem, den der Erbauer ursprünglich zum Entweichen des Dampfes festgesetzt hat. Ein geschickter und erfahrener Ingenieur (Hr. Maudslay) erklärt, daß ein Sicherheitsventil nicht mehr diesen Namen verdiene, wenn es nur eine einzige Woche lang ganz ungelüftet bleibe; auch sieht man bei einigen seiner Dampfkessel das Ventil mit einem Stricke versehen, damit der Heizer es von Zeit zu Zeit abheben könne. Man ist selbst so weit gegangen, diese Bewegung durch mehrere mit der Maschine in Verbindung stehende Hebel ausführen zu lassen, welcher Mechanismus jedoch nicht mehr anwendbar ist, wenn der Kessel etwas entfernt ist.

Die Überlastung der Ventile geschieht meist durch die Unbedachtsamkeit der Arbeiter, entweder, um im Falle einer erhobenen Klage die Arbeit zu beschleunigen, oder auch um mit ihrer Herzhaftigkeit zu prahlen. Gegen diese Gefahr, die größte vielleicht, welche man zu fürchten hat, sichert man sich dadurch, daß man den Kessel beständig mit zwei Ventilen versieht, von denen eins ganz frei, das andere aber in ein Gitterwerk eingeschlossen ist, zu welchem der Maschinist oder der Eigner der Maschine ganz allein den Schlüssel führen darf. Der Gebrauch eines doppelten Ventils wurde fast einstimmig von den vielen Maschinisten empfohlen, welche die Deputirtenkammer in Paris wegen der Verordnung vom Jahre 1817 vorladen ließ. In Frankreich sind die doppelten Ventile durch königliche Ordonnanz zur strengen Bedingung gemacht. Vielleicht könnte man noch verlangen, daß jeder Kessel mit einem einfachen und bequem angebrachten Mechanismus versehen würde, mittelst dessen der Heizer im Stande wäre, sich von Zeit zu Zeit zu überzeugen, daß das Ventil nicht adhärirte. Diejenigen, welche die Werkstätten ein wenig besucht haben, wissen hinlänglich, daß in der That die Arbeiter sich schwer dazu verstehen, diese Operationen mit Regelmäßigkeit anzustellen.

Zu 2). Wiewohl sich die Platte des Ventils jedenfalls in dem Augenblicke erheben würde, wo das Gewicht, mit dem sie belastet ist, geringer wird, als der Druck des Dampfes, so reicht dies doch nicht hin, um jede

Vermehrung der Elasticität im Kessel zu verhüten; dazu ist nöthig, daß die Menge des entweichenden Dampfes wenigstens dem überschüssig erzeugten gleich komme. Erstere hängt von dem Durchmesser der Öffnung ab: nun kann aber eine Öffnung, welche für gewöhnlich allen Bedürfnissen genügt, viel zu klein sein, wenn einmal durch einen Umstand eine große Menge Wasser fast plötzlich in Dampf verwandelt wird. In diesem Falle wird das Ventil zwar das Unglück vermindern, aber nicht verhüten; es ist, um ein Gleichniß zu gebrauchen, wie mit dem Bette eines Gießbaches, welches zwar in gewöhnlichen Zeiten das Wasser faßt, nach einem Platzregen aber zu eng für dasselbe wird. Es würde demnach vortheilhaft sein, den Ventilen eine sehr große Öffnung zu geben, wenn nicht andererseits die Schwierigkeit des Verschlusses und das ungeheuere Gewicht, welches dann erforderlich wäre, doch zwänge innerhalb gewisser Gränzen zu bleiben. Indeß glaubt doch Arago könne man annehmen, daß man sich bisher an zu kleine Dimensionen gehalten.

Hiebei kommen noch insbesondere die S. 127 erwähnten Phänomene in Betracht, zufolge deren unter gewissen, für jeden besondern Fall jedoch noch nicht allgemein vorauszubestimmenden, Umständen eine Platte, die man senkrecht gegen den Dampfstrom hält, der aus einem kleinen Loche in der Wand eines Dampfkessels von sehr hohem Druck ausströmt, nicht immer zurückgestoßen, sondern manchmal so angezogen oder vielmehr durch den Luftdruck so gegen die Öffnung gedrückt wird, daß sie in einer kleinen Entfernung vom Loche schweben bleibt, was denn nothwendig zur Folge haben muß, daß im Momente ihrer Hebung weit weniger Dampf ausströmt, als man von einem Strome von der Breite der Öffnung unter dem Ventile erwarten würde*).

Zu 3). a) Jeder Kessel wird, bevor man denselben zu Anwendungen benutzt, erst gesetzmäßigen Prüfungen unterworfen, um seiner Festigkeit sicher zu sein. So muß in Frankreich nach gesetzlicher Verordnung ein jeder Dampfkessel von Gußeisen einen 5mal, und jeder Kessel von Kupfer und gewalztem oder geschmiedeten Eisen einen 3mal größern Druck von innen nach außen, als er bei seinem Gebrauche duldet, unterworfen werden, bevor er gestempelt wird. Wiewohl nun diese Grenzen etwas weit gestellt sind und oft Einsprüche von Seiten der Maschinenbauer erregen, so gewähren sie dennoch noch keine vollkommene Sicherheit.

Die Prüfungen werden nämlich im Allgemeinen so angestellt, daß man eine Druckpumpe auf die Wände eines mit Wasser gefüllten Dampfkessels in gewöhnlicher Temperatur wirken läßt. In dieser Temperatur ist aber die Festigkeit der Metalle weit stärker, als gegen die Rothglühhitze hin, wo sie außerordentlich stark abnimmt. Versuche von Tremery z. B. haben gezeigt, daß Schmiedeeisen in dunkler Rothglühhitze nur $\frac{1}{6}$ seiner Festigkeit

*) Die in Rede stehenden Sicherheitsventile werden durch den obigen Umstand besonders in dem Falle unzuverlässig, wenn die Platte beträchtlich größer als die durch sie zu verschließende Öffnung ist, der Rand, mit dem sie aufliegt, also eine sehr große Breite hat.

in der Kälte besitzt. Wenn also unglücklicherweise ein Theil des Kessels in Glühhitze geräth, so kommt er den Gränzen des Zerplatzens sehr nahe, ohne daß das Ventil sich öffnete und ohne daß man nach den in gewöhnlicher Temperatur angestellten Versuchen berechtigt wäre, sich ihnen so nahe zu glauben.

Es kann nun zwar befremden, warum man den Kessel bei der Probe nicht genau unter die Umstände bringt, denen er beim Gebrauche unterworfen ist; warum man also nicht Dampf statt des Wassers bei den Probeversuchen anwendet. Es muß jedoch in Betracht genommen werden, daß mittelst der Pumpe der Versuch überall, selbst in der Werkstatt des Künstlers, ohne große Apparate und mit geringen Kosten angestellt werden kann; daß im Gegentheil eine Prüfung mit Dampf die Erbauung eines Ofens und ein großes Local nöthig macht, Umstände, die für die Industrie zu lähmend sein würden, um billigerweise gesetzlich gefordert werden zu können. Hierzu kommt noch, daß die Zuschauer bei einer Probe mit der Pumpe, selbst wenn der Kessel zerspringt, fast nichts zu fürchten haben, was hingegen keineswegs der Fall sein würde, wenn der Kessel Dampf statt Wasser enthielte. Die Vorsichtsmaßregeln, welche man im letztern Falle zu treffen hätte, um die Experimentatoren in Schutz zu stellen, würden die Schwierigkeiten und Kosten dieser Probeversuche bedeutend vermehren. Allem Anschein nach wird daher die Prüfung mit Wasser, ungeachtet ihrer Mangelhaftigkeit, fortdauernd den Vorzug behalten.

b) Wenn man eine Druckpumpe auf die Wände eines mit Wasser gefüllten Dampfkessels wirken läßt, so steigt der innere Druck allmälig und durch sehr unmerkliche Grade. Man erfährt also hierdurch nichts über den Widerstand, den diese Wände im Falle einer bedeutenden und plötzlichen Druckvermehrung leiden würden. Ein solcher kann aber sehr wohl bei dem Gebrauche des Kessels eintreten.

c) Wie leicht zu erachten endlich kann eine in der Werkstatt des Künstlers unternommene Prüfung, auf welche Weise sie auch vorgenommen werde, nur beweisen, was der Kessel dann vermag, und nicht, was er noch nach längerer Benutzung ertragen kann, wenn das Metall sich durch Temperaturungleichheiten nach allen Richtungen gezogen hat, durch Rosten verändert worden ist u. s. w.

Zu 4) Es ist besonderes Gewicht darauf zu legen, daß, wenn gleich ein einfacher atmosphärischer Druck auf den inwendig luftleeren Kessel kein Zerbrechen desselben zu veranlassen vermöchte, wofern die Luftleere allmälig eintritt, doch ein plötzliches Entfernen des innern Druckes ganz den Erfolg einer starken Erschütterung hervorbringen kann, welcher die Kesselwände minder leicht widerstehen werden.

Zur Beseitigung dieser Ursachen von Explosionen hat man die inneren oder Luftklappen erfunden, von denen im nächsten Artikel die Rede sein wird.

Zu 5). Der Umstand, daß unter gewissen Umständen sogar ein Öffnen

der Sicherheitsklappe eine Explosion des Kessels soll verursachen können, scheint beim ersten Anblick sehr sonderbar, indeß wird er nicht nur durch mehrere von Arago erzählte Thatsachen bestätigt, sondern es haben auch Tabareau und Rey eine damit zusammenhängende Erfahrung gemacht, daß nämlich bei einem kleinen, ganz ohne Hülle auf einem Kohlenfeuer stehenden, Kessel, unter hohem Druck, als man einen großen Entladungshahn öffnete, die Sicherheitsklappe augenblicklich in die Höhe ging. Letzteres Resultat ist allerdings nur dem Zusammentreffen gewisser Umstände zuzuschreiben, denn in der Regel beobachtet man, was auch von Natur zu erwarten, bei Öffnung der Klappe stets eine Verminderung des Drucks.

Perkins hat folgende ziemlich glückliche Erklärung jener Explosionen gegeben, denen eine Öffnung der Sicherheitsklappe oder eine Verminderung der Dampfelasticität voranging.

Wenn bei einem gewöhnlichen Kessel die Flamme sich nicht längs der Wände über das Niveau des Wassers erhebt, so hat dieses und der Dampf gleiche Temperatur; sobald aber der Kessel wenig Wasser enthält und die Flamme hoch hinansteigt, kann es geschehen, daß einige Theile rothglühend werden. Der mit diesen in Berührung stehende Dampf erlangt eine ungeheure Temperatur, ohne darum auch eine große Spannung zu erhalten, entweder weil er nicht gesättigt ist, oder aus einem andern weiter unten anzuführenden Grunde.

Denken wir uns den Kessel in diesem Zustande, und nun werde die Sicherheitsklappe gänzlich geöffnet; ein schnelles Ausströmen des Dampfes ist die unmittelbare Folge. Das Wasser, vom Drucke befreit, der es belastete, spritzt in Schaum und Blasen durch den ganzen Kesselraum (es ist dasselbe Phänomen, das der Champagner darbietet, wenn man die Flasche öffnet), allein wie die Wassertropfen mit dem beinahe glühenden Gase in Berührung kommen, werden sie alsogleich in sehr elastischen Dampf verwandelt; die Klappe, obgleich ganz offen stehend, kann der ungeheuern sich plötzlich entwickelnden Dunstmasse nicht genug Raum gewähren, und der Kessel springt.

Diese Erklärung wird im Original noch durch ausführliche theoretische Erörterungen oder Beziehungen auf Thatsachen erläutert und wahrscheinlich gemacht (Baumg. Zeitschr. VII. S. 502), welche wir der Kürze halber übergehen.

Marestier hat über die Ursache der in Rede stehenden Art von Explosionen eine ganz ähnliche Ansicht als Perkins aufgestellt, nur mit dem Unterschiede, daß er annimmt, die Berührung des in die Höhe geleiteten Wassers mit den glühenden Kesselwänden sei Ursache der plötzlichen und gewaltigen Dampferzeugung, während Perkins sie der Vertheilung des Wassers unter den verdünnten aber sehr stark erhitzten Dampf beimißt. Nun scheint für den ersten Anblick die Ansicht Marestier's bei weitem annehmlicher; wenn man sich jedoch an das Leidenfrostsche Phänomen erinnert, zufolge dessen Wasser, in Berührung mit heftig glühendem Metall, viel

längere Zeit zum Verdampfen braucht, als in einem mittelmäßig warmen Gefäße, so verliert diese Meinung an Wahrscheinlichkeit, oder es müßte wenigstens erst nachgewiesen werden, warum das Wasser im Kessel sich ganz anders verhalte, als die kleinen Tropfen im Leidenfrostschen Versuche. Übrigens sind die Resultate aus den Erklärungen von Perkins und Marestier dieselben und aus beiden gehen dieselben Vorsichtsmaßregeln hervor.

Arago setzt mit den vorstehenden Erörterungen zugleich folgende Erklärung des Umstandes, warum in mehreren Fällen ein Springen des Kessels in einer horizontalen Linie beobachtet worden sei, in Verbindung, unter der nicht unwahrscheinlichen Voraussetzung, daß diese Linie dieselbe gewesen sei, welche die Höhe des Wasserstandes an den Wänden der Kessel bezeichnete. Freilich finde ich keine bestimmten Angaben, aus welchen hervorginge, daß diese Fälle gerade solche waren, wo wirklich eine Druckverminderung der Explosion voranging, auf welche doch allein diese Erklärung passen würde.

Wenn im letzten Momente vor der Explosion die Spannung des Dampfes plötzlich und beträchtlich vermindert wird, so muß im selben Momente der Kessel von außen nach innen eingedrückt werden; allein wegen seines plötzlichen Eintretens wird ihn der mit Wasser gefüllte Theil kaum verspüren, wegen der Trägheit der Flüssigkeit, die nicht in einem einzigen Augenblicke überwunden werden kann. — Dieser Druck von außen nach innen geht also um die Gränzlinie des Niveau der Flüssigkeit wie um ein Charnier vor sich. Wenn nun im Momente der Explosion eine plötzliche Entwickelung eines sehr ausdehnsamen Dampfes erfolgt, so wird nach der eben erlittenen Zusammenziehung der Kessel auf einmal wieder ausgedehnt werden. Nimmt man nun auch an, daß er diese zweite Wirkung gleichmäßig in allen seinen Theilen erleide, so wird doch diese rückgängige Bewegung schwächer unterhalb des Niveau der Flüssigkeit sein, schon darum, weil die erste Bewegung dort beinahe unmerkbar gewesen; die Grenzlinie des Niveau wird also auch wieder die Grenze bezeichnen, wo zwei ungleich starke Bewegungen des Metalls zusammentreffen. Nun braucht man nur ein Mal gesehen zu haben, mit welcher Leichtigkeit die Arbeiter Bleche aus dem zähesten Materiale zerbrechen, wenn sie sie plötzlich zwei entgegengesetzten Biegungen um dieselbe Linie ausgesetzt haben, um begreifen zu können, warum diese Grenzlinie, welche als Charnier zweier so heftiger und augenblicklicher entgegengesetzten Bewegungen diente, auch die Bruchlinie sein werde, wenn sie auch nicht die des geringsten Widerstandes ist. Dieselbe Linie bezeichnet ja übrigens auch die Grenze der Schichten, in denen das Metall sehr verschieden erwärmt, und daher von sehr verschiedener Haltbarkeit ist.

Zu 6). Das Wasser, dessen man sich zur Speisung der Kessel bedient, enthält meist Salze, die, indem sie sich beim Sieden absetzen, zuletzt an den inneren Wänden des Kessels eine steinige Kruste bilden, die von Tag zu Tag dicker wird. Diese Schichten wegen ihres geringen Leitvermögens führen die den Wänden mitgetheilte Wärme dem Wasser nur langsam zu,

daher erhitzen sich die Wände immer mehr und mehr, da sie in jedem Momente mehr Wärme empfangen, als die Steinkruste abzuleiten vermag, sie werden glühend, und da heiße Metalle viel weniger Festigkeit haben, steht eine Explosion nahe bevor. Wie leicht ist es nun möglich, daß das beinahe noch kalte Wasser durch irgend eine Spalte der Steinkruste sich über die so heißen Wände verbreite. Unter diesen Umständen spränge ein gegossener Kessel sogleich, und was die aus gehämmerten Platten bestehenden Kessel betrifft, so würden sie, wenn sie auch nicht unterlägen, doch die heftigsten Erschütterungen erleiden. Hierzu kömmt noch, daß die glühenden Metalltheile rosten und sich schnell abnutzen. Als Beispiel erwähnt der Verfasser einen Kessel, der zur Heitzung eines der größten Gebäude von Paris dient, und der dort ein Loch bekam, wo ein Arbeiter aus Versehen inwendig einen Fetzen liegen ließ.

Man sieht, von welchem Belange es ist, den Kessel gut zu reinigen. Bei den Dampfschiffen, die Meerwasser anwenden, muß der Salzniederschlag alle 24 Stunden weggeschafft werden. Ist das speisende Wasser rein, so kann es auch länger anstehen; es läßt sich hierüber Nichts numerisch bestimmen; Sache der Maschinisten ist es, zu sehen, wie viel Salz und mit welcher Schnelligkeit es sich aus dem von ihnen gebrauchten Wasser absetzt. Man hat übrigens die Beobachtung gemacht, daß Kartoffelstärkemehl und Malz die Bildung der Salzablagerungen verhindere, und empfiehlt daher, von Zeit zu Zeit eine gewisse Menge dieser Stoffe in den Kessel zu werfen. Nach Ferrari (J. d. ch. méd. 1831. Juillet p. 429) kann grobes Kohlenpulver zu demselben Zwecke dienen.

Zu 7). Viele haben in Betracht der Gewalt und Plötzlichkeit der Wirkungen, die eine Explosion eines Kessels hervorbringt, geglaubt, daß unmöglich der Dampf allein sie hervorbringe und haben explodirbare Gasgemenge zu Hülfe genommen. Wenn man im chemischen Laboratorium, sagen sie, Wasserstoff erzeugt, indem man Wasserdampf durch eine glühende Eisenröhre streichen läßt, warum soll sich nicht dieses Gas auch im Innern des Kessels erzeugen, wo doch auch der Wasserdampf mit glühendem Metall in Berührung steht? Nun läßt sich allerdings zugeben, es werde Gas erzeugt, und gehe mit dem Dampfe gemischt in den Pumpenstiefel über, aus dem es sich nur mit großem Kraftaufwande fortschaffen lassen wird, da es keiner Condensation fähig ist; es ist sogar nicht unwahrscheinlich, daß dies die Ursache des Verlustes an Geschwindigkeit ist, den man vor dem Eintritte der Explosionen öfters bemerkt. Allein dies reicht noch nicht zur Erklärung hin. Da der Wasserstoff des Wassers in der Hitze nur in dem Maße frei wird, als der Sauerstoff dabei zur Oxydation des Metalls dient, so fragt sich, woher der Sauerstoff kommen soll, um mit dem Wasserstoff das explodirende Gemenge zu bilden; denn Wasserstoff allein oder mit Dunst gemischt explodirt nicht. Ja selbst das Vorhandensein von Sauerstoffgas vorausgesetzt, so würde doch Hellrothglühhitze oder ein elektrischer Funke zur Entstehung der Explosion erfordert werden; allein die Kessel sind ge-

sprungen, ohne die Temperatur, die zur Hervorbringung der Detonation nöthig scheint, erreicht zu haben, und für die Entstehung eines elektrischen Funkens sind noch weniger Gründe vorhanden.

In der Heizkammer allerdings können sich unter gewissen Umständen explodirende Gemenge erzeugen, denen sich jedoch nur gewisse Unfälle und die begreiflich nicht vom Kessel ausgehen, zuschreiben lassen. Um dergleichen Unfälle zu verhüten, muß man so viel möglich alle nach oben oder unten gelegenen Kniee in den zur Ableitung des Rauches bestimmten Röhren vermeiden, denn vornämlich diese Kniee sind es, wo sich dergleichen detonirende Gemenge aufhalten. Das Luftloch des Rauchfanges darf nie hermetisch verschlossen sein, und um endlich zu vermeiden, daß sich nicht das Kohlengas entwickele, ohne zu verbrennen, muß man zwischen den Stangen des Rostes stets freie Zwischenräume erhalten. Ist die Kohle harzig und klebrig, so kleben die verschiedenen Stücke an ihm fest und bilden eine feste Kruste, die, wenn sie nur ein wenig dick ist, für die Flamme beinahe undurchdringlich ist. Die Heizkammer wird dann ein wahrer Destillirapparat, giebt viel Kohlenwasserstoffgas und wenig Wärme. Den Rost daher mit einer dünnen Kohlenschicht zu beladen, ist nicht nur ökonomisch, sondern auch eine wichtige Vorsichtsmaßregel.

Mittel, welche zur Verhütung der Explosion von Dampfkesseln vorgeschlagen worden sind *). Außer den Papinschen Sicherheitsventilen sind, weil dies angegebenermaßen kein unfehlbares Schutzmittel gewährt, namentlich folgende Mittel zu diesem Zwecke vorgeschlagen und angewandt worden: 1) leicht schmelzbare Platten; 2) dünne Platten; 3) das manometrische Ventil; 4) das einwärtsschlagende oder Luftventil.

1) Leicht schmelzbare Platten. Wenn man ein Loch im Kessel durch eine Platte aus einer Legirung von Blei, Zinn und Wismuth in solchen Verhältnissen verschließt, daß sie bei einer im Voraus festgesetzten Temperaturgränze schmilzt, so wird begreiflich der Dampf in einem solchen Kessel nie die Spannkraft übersteigen können, welche dem Maximum der Dichtigkeit des Dampfes bei jenem Temperaturgrade zugehört, weil bei jeder höhern Spannkraft die Platte schmelzen würde; hierauf gründet sich die Anwendung leicht schmelzbarer Platten (neben denen übrigens die Kessel auch noch die gewöhnlichen Ventile besitzen müssen) zur Verhütung von Explosionen.

In Frankreich verlangt eine königliche Ordonnanz, daß jeder Dampfkessel mit 2 leicht schmelzenden Platten von ungleicher Größe versehen sei. Der Schmelzpunkt der kleinern soll 10° C. höher liegen, als die Temperatur eines Dampfes, der im Sättigungszustande gleiche Spannkraft, wie der beim gewöhnlichen Gebrauche angewandte Dampf besitzt. Die andere Platte soll 10° C. oberhalb der erstern schmelzen.

*) Pogg. XVIII. 311.

Man hat als Einwand gegen diese Mittel vorgeschlagen, daß, wenn sie auch die Explosionen sicher verhüten, sie doch auf der andern Seite den Übelstand darbieten, daß sie schon viel eher schmelzen können, als der Dampf die vorgeschriebene Gränze der Spannkraft erreicht hat, indem ein nicht gesättigter Dampf schon bei geringer Spannkraft eine sehr hohe Temperatur erlangen kann, daß sie also in diesem Bezuge zu viel leisten. Wenn man indeß bedenkt, daß dieser Fall bloß dann eintreten kann, wenn es an Wasser im Kessel fehlt, wo mithin der Kessel eine sehr starke Erhitzung, vielleicht gar bis zum Rothglühen, erfahren kann, und daß gerade dies Umstände sind, welche eine Explosion veranlassen können (S. 187), so wird man diesen Einwurf ungegründet finden.

Einen andern Grund, warum die Platte unter der Temperatur, welche ihre Schmelzung bedingen soll, sich öffnen könne, fand man darin, daß sie vor Erreichung ihres Schmelzpunktes etwas erweicht, mithin durch den Druck des Dampfes aufplatzen könne. Anfänglich war dies auch wirklich der Fall; seitdem man aber die Platte vor der Festlöthung in dem zu ihrer Aufnahme bestimmten Rohre mit einem etwas engmaschigen Metallgewebe bedeckt, ist diese Schwierigkeit verschwunden. Zwar bilden sich noch bei dem Herannahen des Schmelzpunktes hier und da einige Blasen; allein, wie die Erfahrung zeigt, giebt die Platte nur in großer Nähe des Schmelzpunktes nach, wo sie dann in die Höhe geschleudert wird und der Dampf einen offenen Ausgang findet.

Wichtiger als diese Einwürfe scheint folgender zu sein: Wenn die schmelzbare Platte verschwunden ist, so entweicht aller Dampf durch die Öffnung, welche sie verschloß. Es kann eine ziemliche Zeit darauf vergehen, bevor sie durch eine neue ersetzt, der Kessel wiederum gefüllt und geheizt worden ist, und während diesem ist der Gang der Maschine völlig unterbrochen. Durch eine solche plötzliche Vernichtung der bewegenden Kraft kann ein Dampfboot an den Küsten und besonders am Eingange eines Hafens in die gefährlichste Lage versetzt werden*). Dies ist auch vielleicht der Grund, warum in England diese Einrichtung noch keinen Eingang gefunden hat.

*) Reichenbach in München, welcher der Erfinder der Anwendung der leicht schmelzbaren Platten zu sein scheint, befestigt das Metallgemisch nicht unmittelbar in einer Öffnung des Kessels, sondern gießt damit einen hohlen konischen Eisenstöpsel aus, der durch Reibung in der mit einer Dille versehenen Öffnung festgehalten wird. Die Durchbohrung des Stöpsels hat die Gestalt zweier abgestumpfter, sich mit ihrer Grundfläche berührender Kegel, wodurch, wie leicht zu erachten, ein Herausstoßen des Metallgemisches durch die mechanische Kraft des Dampfes unmöglich gemacht wird. Offenbar reicht es hin, mehrere solcher mit Metallgemisch ausgegossene Stöpsel vorräthig zu haben, um, nachdem der Dampf durch Schmelzen der Composition den nöthigen Ausgang gefunden hat, den Kessel wieder verschließen zu können, so daß der Stillstand der Maschine bei dieser Einrichtung bald wieder beseitigt werden kann (vgl. Schweigg. J. XVIII. S. 276).

Die Vertheidiger der schmelzbaren Platten zählen es zu ihren Hauptvorzügen, daß man mittelst derselben gegen die Unklugheit der Arbeiter gänzlich geschützt sei. Dies ist jedoch nicht streng richtig; denn wollen die Heizer das Feuer mehr als gewöhnlich steigern, so wissen sie recht wohl, daß man das Schmelzen der Platte durch fortlaufendes Begießen mit kaltem Wasser verhindern kann, so daß man also in dieser Beziehung Nichts gewonnen hat.

2) Dünne Platten. Ein Sicherheitsventil, das Papin'sche, wie das aus leicht schmelzbarem Metallgemisch, ist genau betrachtet nichts anders als die künstliche Schwächung eines Theils der Wände des Kessels. Diese Schwächung zu bewirken hat man vorgeschlagen, kleine eigends dazu gemachte Öffnungen im Kessel durch Blechplatten von so berechneter Dicke zu verschließen, daß sie unter einem Druck von einer, zwei, drei oder zehn Atmosphären zerreißen, je nachdem man bei der Arbeit den Druck von zwei, drei, vier oder elf Atmosphären nicht überschreiten will. Es ist einleuchtend, daß das Aufplatzen einer so kleinen und so dünnen Platte niemals ernsthafte Unfälle herbeiführen wird.

So vorzüglich dies Mittel auch erscheinen mag, so ist es doch sehr selten angewandt, sei es nun, weil es nicht leicht ist auf experimentellem Wege zu bestimmen, welche Dicke die Platte für einen gegebenen Durchmesser des Loches haben müsse, um unter diesem oder jenem Drucke zu zerreißen; oder, weil man nicht dafür stehen kann, immer Platten von genau derselben Beschaffenheit zu haben. Die dünne Platte ist, an ihrem Orte, weniger als die schmelzbare Platte den Angriffen der Arbeiter ausgesetzt; denn sie läßt sich zwar schwächen, aber nie verstärken, und das ist das Wichtigste. In dieser Beziehung sind die dünnen Platten den schmelzbaren Platten vorzuziehen; aber auch sie haben wie die letztern den Nachtheil, daß sie beim Aufplatzen allen Dampf entweichen lassen.

3) Manometrisches Ventil. Das manometrische Ventil besteht in einer mit Quecksilber gefüllten, mit dem Dampfkessel in Verbindung stehenden, gebogenen Röhre *), in welcher die Quecksilberhöhe auf den Druck, den man beabsichtigt, berechnet ist. Wird dieser Druck überstiegen, so wird das Quecksilber hinausgeschleudert, und der Dampf gewinnt Freiheit. Eine solche Vorrichtung hat neben gleicher Sicherheit mit den andern Arten von Schutzmitteln den Vorzug vor erstern, daß sie in jedem Augenblicke das Maß der Elasticität des Dampfes giebt. Das Papinsche Ventil zeigt nichts an, so lange es sich nicht hebt, eben so die schmelzbare Platte, so lange sie nicht schmilzt. Der Heizer erfährt durch sie plötzlich, daß er den Gränzdruck erreicht hat, den er nicht überschreiten darf, aber er wird durch nichts gewarnt, daß er sich ihm nähert. Das Manometer dagegen spricht so zu sagen eben so gut unter einem schwachen, wie unter einem starken Druck

*) Vergl. über diese von Trevithik erfundene Vorrichtung Gilbert's Ann. LIV. S. 97.

an. Die Platte des gewöhnlichen Ventils kann ferner, ohne daß man es gewahr wird, ihre Beweglichkeit ganz verloren haben, wogegen, wenn zufällig Unreinigkeiten das manometrische Rohr verstopft haben sollten, die vollständige Unbeweglichkeit des Quecksilbers sich augenblicklich kenntlich macht; denn wie leicht zu erachten, kann in einem so großen Apparate wie der Kessel, aus dem der Dampf stoßweise entweicht, die Elasticität nicht völlig constant seyn; daher jede Fluctuation des Dampfs eine Schwankung der Quecksilbersäule in dem mit dem Kessel verbundenen Manometer hervorbringt.

Arago urtheilt demzufolge, daß die Quecksilbermanometer für die zweckmäßigsten der bisher erfundenen Sicherheitsventile zu halten sind, vorausgesetzt nur, daß ihr Durchmesser hinlänglich groß sey. Eine zu große Länge derselben kann sie jedoch für hohen Druck unpraktisch machen.

4) Einwärts schlagendes oder Luftventil. Diese Klappen sind bestimmt, Explosionen durch einwärts gerichteten Druck der Atmosphäre auf einen plötzlich dampfleer gewordenen Kessel zu verhüten. (Vgl. S. 184 u. 187). Eine solche Klappe kann sich nur von außen nach innen öffnen. Sie wird entweder durch eine im Kessel angebrachte Spiralfeder festgehalten, deren Kraft kaum ihr Gewicht übersteigt, oder sie ist horizontal an einem außerhalb befindlichen Hebel so angehangen, daß sie genau die innern Wände der Öffnung berührt, die sie schließen soll. Nach dieser Anordnung kann die Elasticität des Dampfes nie unter den Druck der Atmosphäre herabsinken, ohne daß die Klappe der Luft freien Eintritt in den Kessel gewährt; man hat daher nicht zu fürchten, daß in demselben ein leerer Raum entstehen werde. Freilich wäre es schwer zu behaupten, daß dieses Mittel jede Eindrückung der Wände unfehlbar verhüten werde, denn ist diese Folge einer plötzlichen und beträchtlichen Verminderung der Dampfelasticität, so kann die Klappe das Übel bei ihrer stufenweise eintretenden Wirksamkeit zwar vermindern, aber nie ganz heben. Gegen derlei Unfälle hilft nur die genaueste Wachsamkeit auf die Feuerungsmittel, und daß man verhindere, daß nicht durch irgend einen Zufall, z. B. durch eine große Menge über den Kessel verbreiteten kalten Wassers, derselbe plötzlich erkalte.

## Verdunstungsproceß.

Verflüchtigung der Körper mit Wasser. Faraday hat einerseits nachgewiesen, daß Körper, die an sich bei gewöhnlicher Temperatur nicht flüchtig sind, auch durch Gegenwart von Wasser nicht die Fähigkeit erhalten, sich mit demselben bei dieser Temperatur zu verflüchtigen; Saladin andrerseits aber, daß bei höherer Temperatur flüchtige Substanzen, wenn sie mit Wasser, Alkohol oder Äther gekocht werden, mit übergehen können, auch wenn sie für sich nicht fähig seyn würden, sich bei dieser Temperatur zu verflüchtigen. (Es ist indeß nicht ausgemittelt worden, inwiefern bei letzterm Versuche der Erfolg von einem mechanischen mit überreissen der Theilchen abhängig seyn konnte.

Versuche von Faraday *). Derselbe nahm im Herbste 1826 einerseits Flaschen, andrerseits kleine, an einem Ende zugeschmolzene Röhren, that in letztere gewisse Substanzen und füllte die erstern bis zu einer gewissen Höhe mit den Auflösungen gewisser anderer Substanzen, setzte darauf die Röhrchen mit ihrem Inhalte in die Flüssigkeit der Flaschen, so daß nur auf dem Wege der Verdampfung etwas von dieser Flüssigkeit zur Substanz der Röhren oder umgekehrt gelangen konnte. Die Flaschen wurden darauf verstöpselt, sorgfältig überbunden und in einen dunkeln Schrank gestellt, wo sie beinahe vier Jahre ruhig stehen gelassen wurden.

Die angewandten Substanzen waren folgende:

| Gehalt des Röhrchens. | Der Flasche. |
|---|---|
| 1) Chlorbaryum-Krystalle. | Lösung von schwefels. Natron mit einem Tropfen Salpeters. |
| 2) Geschmolzenes Chlornatrium. | Lösung von salpeters. Silber. |
| 3) Krystalle von Kleef. | Lösung von Chlorcalcium. |
| 4) Kryst. Kochsalz. | 1 Th. Schwefels. 1 Th. Wasser. |
| 5) Kryst. kleef. Ammoniak. | Lösung von Chlorcalcium. |
| 6) Arsenige Säure. | Kalilösung. |
| 7) Salmiak. | 1 Schwefels. 1 Wasser. |
| 8) Kaliumeisencyanür-Krystalle. | Lösung von schwefels. Eisenoxyd. |
| 9) Kalomel. | Kalilösung. |
| 10) Ätzsublimat. | Kalilösung. |
| 11) Chlorbley. | Jodkaliumlösung. |
| 12) Kryst. kohlens. Natron. | Chlorcalciumlösung. |
| 13) Salpeters. Ammoniak. | Verdünnte Schwefels. |
| 14) Kryst. Kaliumeisencyanür. | Lösung von schwefels. Kupferoxyd. |
| 15) Jodkalium. | Lösung von essigs. Bley. |

Nirgends war bei diesen Versuchen eine Spur der einen Materie zur andern aus der Flasche in die Röhre oder umgekehrt übergegangen (wie sich durch Mangel der dies anzeigenden chemischen Reactionen ergab) außer bei 3), 10), 13) und vielleicht 5), ungeachtet bei mehreren ein großer Theil Wasser aus der Flasche in die Röhre übergegangen war. Daraus aber, daß bei den als Ausnahme erwähnten Versuchen ein solcher Übergang einigermaßen Statt gefunden hatte, läßt sich schließen, daß salpeters. Ammoniak, Quecksilberchlorid, Kleef. und vielleicht kleef. Ammoniak zu den Substanzen gehören, die auch schon in gewöhnlicher Temperatur Dampf entwickeln.

Versuche von Saladin **). Als Saladin arsenige Säure, Ätzsublimat, Schwefel, Kalk, salzsaures, arseniksaures und kleesaures Ammoniak; ferner Morphin, Veratrin, Brucin, mit Wasser, Alkohol und Äther destillirte, war in den meisten der Destillationsproducte das Vorhandenseyn dieser Stoffe in mehr oder minder reichlichem Verhältnisse, was sich nach

*) Journ. of the royal Inst. 1831. No. 1. p. 70 oder Pogg. XIX. 545.

**) Journ. de chim. méd. 1830. Sept. p. 553.

der Auflöslichkeit der Substanz in der Flüssigkeit zu richten schien, leicht zu erkennen.

Kalkwasser, schwefelsaures Kupferammoniak, salpetersaures Silberammoniak, Schwefelwasserstoffsäure, Eiweiß brachten, namentlich in den Producten der wässerigen und alkoholischen Destillation des Arseniks und Ätzsublimats, selbst wenn diese Gifte in sehr kleinen Verhältnissen angewendet worden waren, hinlänglich reichliche Niederschläge hervor, daß man danach als Erforderniß anerkennen muß, namentlich in Bezug auf erstern Körper, in Fällen der gerichtlichen Medicin in Destillirgefäßen zu operiren, wobei die Untersuchung des Destillats noch den besondern Vortheil gewährt, diese Gifte in unvermischterm Zustande der Wirkung der Reagentien darzubieten.

Leslie'sches Verdunstungsverfahren, auf Ätherdämpfe angewandt *). Dove hat sich überzeugt, daß das Leslie'sche Verfahren, die durch Luftverdünnung mittelst der Luftpumpe beschleunigte Verdampfung des Wassers durch Condensation der sich entwickelnden Dämpfe mittelst concentrirter Schwefelsäure noch zu verstärken, auch auf Ätherdämpfe angewandt werden kann; indem diese ebenfalls durch Schwefelsäure condensirt werden.

Verdunstung des Eises von Schübler **). Schübler hat über diesen Gegenstand Versuche angestellt, aus welchen hervorgeht, daß die Größe der Verdunstung des Eises nicht so unbedeutend ist, als man zu glauben versucht seyn könnte; ja er fand sie sogar merklich größer als die des Wassers, indem sie z. B. bei der trocknen Kälte des 9ten Jan. 1826 in 24 Stunden doppelt so groß war, als in der Mitte Februars von einer eben so großen Wasserfläche, bei Thauwetter und gelinder Witterung. Im ganzen Monat Januar, bei einer mittlern Kälte von ungefähr — 6° R. betrug sie, auf die Höhe reducirt, 1,48 Linien. Die Oberfläche einer Eisschicht wird sich daher selbst bei einer mittlern Kälte von mehrern Graden unter Null in vier Monaten leicht um ½ Zoll durch bloße Verdunstung vermindern können, und auf hohen Gebirgen muß bei dem geringern Druck und der größern Trockenheit der Luft, welche weit häufiger in diesen Gegenden durch starke Winde in Bewegung gesetzt wird, die Verdunstung im Sonnenlicht noch weit stärker seyn. Es ergiebt sich hieraus, warum liegender Schnee ohne alles Thauwetter bei länger anhaltender trockener Kälte sich nach und nach vermindern muß, und bei einer geringen Menge desselben ganz verschwinden kann ***).

Die Methode, welche Schübler bei seinen Untersuchungen anwandte, ist

*) Pogg. XIX. 356.

**) Naturwissensch. Abh. einer Gesellsch. von Würtemb. I. 211.

***) S. z. B. fand Schübler die Größe der Verdunstung von einem Quadratfuß Eis im Monat Januar 1826 = 17,8 par. Cubikzoll, während die Menge des auf eine gleich große Fläche während dieses ganzen Monats gefallenen Schneewassers nur 20 par. Cubikzoll betrug, wobei noch in Betracht zu ziehen ist, daß Schübler die Verdunstung von einer Schneefläche nach angestellten Versuchen noch größer als die von einer gleich großen Eisfläche fand.

folgende: Um die Größe geringer Verdunstungen messen zu können, bediente er sich des **Gewichts**. Er ließ sich zu diesem Zwecke ein cylindrisches Gefäß von Messing verfertigen, welches einen Zoll Tiefe und 2,35 Quadratzoll Oberfläche hatte, und setzte in demselben eine drei Linien dicke Schicht von destillirtem Wasser im flüssigen und gefrorenen Zustande an der freien Luft der Verdunstung aus; die Gewichtsverminderung, welche sich mittelst einer genauen Wage bis auf $\frac{1}{10}$ genau bestimmen ließ, gab die Größe der Verdunstung.

Vorzugsweise wurde zu diesen Versuchen der Januar 1826 benutzt, wo sich die Temperatur über drei Wochen lang im Schatten, selbst Mittags, unter dem Eispunkt erhielt, nachdem sich das Wasser im Gefäße schon in den letzten Tagen des Decembers in Eis verwandelt hatte. Das Gefäß stand auf der nördlichen Seite der Wohnung, wo es nicht von der Sonne beschienen werden konnte, und war gegen den wenigen Schnee, welcher während dieser Zeit fiel, durch ein vorstehendes Dach geschützt. Das Gewicht des Gefäßes wurde alle 24 Stunden Nachts um 10 Uhr geschätzt. Dasselbe minderte sich vom 1sten bis 13ten Januar, wo das Wasser beständig gefroren blieb, um 71,5 Gran (med. Gew.), oder die Größe der Verdunstung betrug, auf die Fläche von einem par. Quadratfuß reducirt, 13,7 Cubikzolle, welches einer Höhe von 1,14 par. Lin. entspricht. Die mittlere tägliche Verdunstung von dieser Fläche betrug daher 3,1 Gran, oder von einem Quadratfuß 0,59 Cubikzoll, oder, auf die Höhe reducirt, 0,05 Linien.

Die Größe der Verdunstung zeigte sich an den einzelnen Tagen sehr verschieden, je nachdem die Luft windig oder ruhig war und mehr oder weniger Dünste enthielt, nach schon bekannten Gesetzen.

Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht der erhaltenen Resultate in Verbindung mit den der gleichzeitig beobachteten übrigen meteorologischen Instrumente *). Es ist hier der ganze Januar zusammengefaßt, indem auch nach dem 23sten die Kälte aufs Neue bedeutend stieg und sich das Thermometer nur an drei Tagen Mittags auf kurze Zeit etwas über den Eispunkt erhob (den 24sten, 25sten und 31sten Mittags auf + 1,0 R., + 0,3° R. und + 0,8° R.), wobei es jedoch nur unbedeutend thaute. An die Beobachtungen des Januars sind zugleich die des Februars angereiht, woraus sich die mit der Wärme schnell zunehmende Verdunstung näher ergiebt, so wie auch zur Vergleichung die größte im vorhergehenden Sommer in 24 Stunden bei heißer Witterung im Schatten beobachtete Verdunstung beigefügt ist, an welchem Tage die Temperatur Nachmittags um 2 Uhr bis auf 24°,6 R. gestiegen war.

Die größte Verdunstung war im Juli in 24 Stunden mehr denn 10 Mal größer als die stärkste Verdunstung in 24 Stunden im Januar bei einer Temperaturdifferenz beider Tage von 28,95° R.

*) In Bezug auf die Angaben des Fischbeinhygrometers ist jedoch zu berücksichtigen, daß ein solches, wahrscheinlich wegen Gefrieren der Feuchtigkeit darin, unter dem Frostpunkte nicht sehr empfindlich zu seyn scheint.

## Tabelle über die Verdunstung des Eises.

| Zeitpunkte. | Ausdünstung in 24 Stunden. Verdunstung in par. Cubikz. von einer Fläche von 1 □Fuß. | Ausdünstung in 24 Stunden. Verdunstete Höhe in Linien. | Mittlere Temperatur in Reaum. Graden. | Mittler Stand des Fischbeinhygrometers | Mittlerer Barometerstand auf + 10° Reaum. reducirt. Zoll | Mittlerer Barometerstand auf + 10° Reaum. reducirt. Lin. | Wind und Witterung. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vom 1sten bis 10ten Januar | 0,75 | 0,062 | — 6,36 | 64,6 | 26. | 11,59 | meist heiter mit O. und SO. |
| vom 11ten bis 20sten Januar | 0,46 | 0,038 | — 6,58 | 62,8 | 27. | 2,37 | einige heitre Tage, meist trüb, etwas Schnee, SO., NW. |
| vom 20sten bis 31sten Januar | 0,52 | 0,043 | — 5,98 | 62,8 | 27. | 3,62 | meist heitre mit SO. und O. |
| vom 1sten bis 10ten Februar | 1,20 | 0,100 | + 0,67 | 65,0 | 27. | 3,35 | gelind, meist heiter, mit Thauwetter, SW., S., SO. |
| vom 11ten bis 20sten Februar | 1,47 | 0,122 | + 1,74 | 64,9 | 27. | 2,92 | gemischt, mit etwas Regen und meist SW., oft windig. |
| vom 21sten bis 28sten Februar | 4,12 | 0,343 | + 4,09 | 59,3 | 27. | 4,28 | gemischt, mit etwas Regen und meist SW., oft windig. |
| größte Verdunstung im Jan. den 9ten | 2,80 | 0,233 | — 9,0 | 60,0 | 26. | 10,57 | heiter mit strenger Kälte und starkem NOwind. |
| kleinste Verdunstung im Jan. den 6ten | 0,02 | 0,001 | — 2,2 | 67,0 | 26. | 10.26 | meist bewölkt, neblicht, ruhiger S. u. SOwind. |
| größte Verdunstung im Febr. den 26sten | 5,90 | 0,491 | + 3,3 | 57,5 | 27. | 0,91 | etwas bewölkt mit starkem SWwind. |
| kleinste Verdunstung im Febr. den 4ten | 0,20 | 0,016 | — 2,0 | 74,0 | 27. | 2,40 | meist heiter, neblicht, ruhige Luft, SWwind. |
| Summe der Verdunstung im ganzen Jan. | 17,8 | 1,48 | — 6,25 | 63,4 | 27. | 1,71 | beinahe anhaltend trockene Kälte. |
| Summe der Verdunstung im ganzen Febr. | 59,7 | 4,97 | + 2,09 | 63,3 | 27. | 3,46 | gelind, zuweilen etwas Regen, oft heiter. |
| größte Verdunstung im Sommer 1825 in 24 Stunden, den 18ten Juli. | 29,5 | 2,45 | +19,95 | 30,5 | 27. | 2,35 | heiter und heiß bei Owind. |

## Hygrometer.

Haar- und Fischbeinhygrometer. Schübler *) macht die Bemerkung, daß die aus thierischen oder vegetabilischen Stoffen bestehenden Hygrometer bei Temperaturen unter Null gegen die Feuchtigkeit nicht sonderlich empfindlich zu seyn scheinen, unstreitig weil sie selbst gefrieren. So fand er an verschiedenen Tagen, wo die untere Atmosphäre bei strenger Kälte von Duft und Nebel erfüllt war, der sich an Bäumen und andern Gegenständen in Menge als ein schneeartiger Reif absetzte, das Fischbeinhygrometer höchstens bis auf 67 und 68 Grade der Feuchtigkeit gehen, während sich dasselbe Instrument bei dichten Nebeln über dem Eispunkte bis gegen 90 Grade und dem Maximum von Feuchtigkeit näherte. Die Verdunstung selbst fand er unter diesen Verhältnissen, das Thermometer mochte über oder unter dem Eispunkte seyn, bei Duft und Nebeln immer höchst unbedeutend, oft war selbst nach 10 bis 12 Stunden kaum eine Gewichtsverminderung zu bemerken.

August **) fand folgende empirische Formel zur Ableitung des Sättigungszustandes der Luft aus den Graden des Haarhygrometers, nach Vergleichung mit den Anzeigen des Psychrometers, sehr genügend, die jedoch nicht unter 40° des Haarhygrometers gültig seyn möchte, da sie blos nach Beobachtungen, welche über 40° gemacht wurden, abgeleitet ist, auch müssen die Zahlencoefficienten ***) für jedes besondere Haarhygrometer besonders nach Beobachtungen bestimmt werden.

$$p = 1{,}234 \left[1 - \sqrt{1 - 0{,}00964 \left(h - \frac{1}{13} t\right)}\right]$$

$$h = 168p - 68p^2 + \frac{1}{13} t$$

Hierin ist p der Quotient, welchen man erhält, wenn man die zum Thaupunkt gehörige Spannkraft des in der Luft wirklich vorhandenen Dampfes durch das Spannungsmaximum für die Temperatur der Luftwärme dividirt, oder das Sättigungsverhältniß der Luft. Mit h sind die Grade des Saussüre'schen Haarhygrometers bezeichnet, mit t die Luftwärme in Reaumür'schen Graden.

Die erstere Formel dient, um das Sättigungsverhältniß der Luft aus den Graden des Haarhygrometers herzuleiten. Die letztere, um

*) Naturwissensch. Abhandl. in Würtemb. I., S. 216.

**) Fortschritte der Hygrometrie. S. 12.

***) Unstreitig werden blos die Coefficienten 0,00964 und $\frac{1}{13}$ für verschiedene Haarhygrometer zu verändern seyn, während 1,234, wie es scheint, einen physikalischen Umstand ausdrückt (da die Herleitung der Formel nicht gegeben ist, kann ich nicht bestimmt darüber urtheilen). In der That, da die Formel zufolge der Angabe blos nach zwei Beobachtungen entwickelt ist, so können hieraus nicht drei Zahlencoefficienten bestimmt werden.

aus dem Sättigungsverhältniß die Grade des Haarhygrometers zu bestimmen *).

Melloni **) hat auf directem Wege eine Vergleichung der Anzeigen des Haarhygrometers mit der Spannung des Dampfes, welche es bei einer gewissen Temperatur im Raume anzeigt, angestellt, und zwar auf eine andre Weise, als dies schon früher von Gay-Lussac und von Prinsep ***) geschehen ist. Folgende Tabelle führt er als mittleres Endresultat seiner Versuche an, die mit drei verschiedenen Haaren wiederholt wurden, bei denen die größte Differenz blos 0,025 der Totalspannung betrug. Es ist zu bedauern, daß der Verfasser nicht angiebt, auf welche Temperatur sie sich bezieht, doch ist sie ****) höher gewesen, als die von Gay-Lussac gewählte von 10° C. (vielleicht 25° C., welche der Verfasser im Anfange seiner Abhandlung als Beispiel anführt).

| Grade des Hygrometers | Spannung des Dampfes | Grade des Hygrometers | Spannung des Dampfes |
|---|---|---|---|
| 100 | 100,00 | 45 | 29,84 |
| 95 | 90,76 | 40 | 25,99 |
| 90 | 83,11 | 35 | 23,76 |
| 85 | 76,50 | 30 | 18,97 |
| 80 | 68,86 | 25 | 16,37 |
| 75 | 62,00 | 20 | 11,74 |
| 70 | 55,58 | 15 | 8,33 |
| 65 | 49,63 | 10 | 5,02 |
| 60 | 44,00 | 5 | 2,56 †) |
| 55 | 39,10 | 0 | 0,00 |
| 50 | 34,62 | | |

Die graphische Verzeichnung dieser Resultate liefert eine Hyperbel, welche etwas weniger Krümmung zeigt, als die aus Gay-Lussac's Beob-

*) D'Aubuisson bestimmt nach v. Saussure die obigen Größen für Haarhygrometergrade über 50° durch folgende Formel:

$$p = 0{,}015h - 0{,}47$$

welche sich aber nicht so gut als die obige an die vergleichenden Beobachtungen des Haarhygrometers und Psychrometers anschließt. Zum Belege der Übereinstimmung der Formel mit den Details der Beobachtung ist in der Originalschrift (S. 18) eine Tabelle beigefügt.

**) Ann. de Ch. et de Ph. XLIII. 39 oder im Auszuge in Schweigg. J. LX. 75.

***) Baumg. Zeitschr. II. S. 29. Vergl. auch Schweigg. J. LX. S. 79.

****) Wie aus der nachfolgenden vom Verfasser selbst herrührenden Bemerkung über die Proportionalität der Hygrometergrade zu schließen.

†) Diese Größe ist aus den bei 9° und 10° angestellten Versuchen hergeleitet.

achtungen folgende, wonach die Grade des Hygrometers den Feuchtigkeitsgraden um so mehr proportional seyn würden, je höher die Temperatur ist.

Das Wesentliche von Melloni's Verfahrungsart, die sich in der Originalabhandlung selbst in großem Detail beschrieben findet, beruht auf Folgendem:

Wird ein Raum mit reinen Wasserdämpfen gesättigt, so bleibt ein in denselben gebrachtes Haarhygrometer bei 100° stehen; wird dieser Raum verdoppelt, so enthält er nur die Hälfte der zur Sättigung erforderlichen Dampfmenge und das Hygrometer bewegt sich gegen den Punkt der Trockenheit. Ist die Temperatur dieselbe geblieben und das Hygrometer blieb bei etwa 65° stehen, so dürfen wir annehmen, daß dieser Hygrometergrad anzeige, daß die Luft die Hälfte der zu ihrer Sättigung erforderlichen Dampfmenge enthalte. Wenn nun das Volumen der ursprünglich gegebenen Dampfmenge beliebig geändert und jedesmal der entsprechende Stand des Hygrometers aufgezeichnet wird, so läßt sich eine Tafel construiren, welche die ganze Scale des Instrumentes umfaßt.

Um diesen Zweck zu erreichen, construirt der Verfasser ein Barometer, welches aber einen großen Recipienten enthält, der möglichst luftleer gemacht wird. Das Hygrometer befindet sich in einem andern Recipienten, in welchen zuerst einige Wassertropfen gebracht werden, um den Raum mit Dämpfen zu sättigen. Sodann wird dieser Recipient auf eine Luftpumpe gesetzt und die Luft verdünnt; hierbei entweicht ein Theil der Dämpfe, welcher aber sogleich von dem tropfbaren Wasser wieder ersetzt wird. Ist die Luft möglichst verdünnt und es bleibt dann noch einiges Wasser übrig, so wird so lange gepumpt, bis das Wasser ganz verdunstet und der Raum dagegen mit Dämpfen gesättigt ist. Ist dieser Punkt erreicht, so wird das Hygrometer nebst seinem Recipienten auf den oberen Theil des Barometers geschraubt; die Dämpfe verbreiten sich in einem größeren Raume, und ihre Spannung läßt sich aus den Angaben dieses großen und denen eines gewöhnlichen Barometers herleiten. Wird das große Barometer in eine mit Quecksilber gefüllte Röhre geschoben, oder in dieser erhöht, so läßt sich das Volumen der Dämpfe nach Willkür ändern, und der Raum, in welchem sich das Hygrometer befindet, nach Belieben dem Punkte der größten Trockenheit oder Sättigung nähern.

Bei seiner Einrichtung des Apparates konnte der Verfasser aber nur von 100° bis 54° des Hygrometers gehen; um auch Versuche für größere Grade der Trockenheit anzustellen, könnte man zwar Röhren von größerer Dicke nehmen, jedoch wendete er ein anderes Verfahren an. War nämlich das Hygrometer bis 45° gekommen, so wurde der Hahn des Recipienten, in dem es sich befand, geschlossen, und von dem Barometer abgeschraubt, ein anderer, geglühtes Chlorcalcium enthaltender, Recipient oben an das Barometer befestigt und dieses dadurch getrocknet. War dieses geschehen, so wurde das Hygrometer wieder an dem oberen Theile befestigt und der

die Dämpfe enthaltende Raum durch Hebung der Barometerröhre vergrößert. War hier wieder das Hygrometer bis zu dem äußersten Punkte gekommen, so wurde die Austrocknung des Barometers wiederholt. Durch diese Operationen brachte der Verfasser das Hygrometer bis 9°.

Um Resultate zu erhalten, welche möglichst genau wären, stellte der Verfasser die Versuche mit derselben Dampfmenge zweimal an. Er vergrößerte nämlich das Volumen des Dampfes so viel als möglich, und sodann senkte er das Barometer wieder in die Tiefe, um den Raum, in welchem sich der Dampf befand, wieder zu verkleinern. In beiden Fällen stimmten die Angaben des Hygrometers bis auf Kleinigkeiten überein. Da ferner die besten Hygrometer in ihren Angaben oft Abweichungen von 1° bis 2° zeigen, so änderte der Verfasser nach jeder Reihe von Versuchen sein Haar nach jedem Versuche noch zweimal, dergestalt, daß er drei Beobachtungsreihen erhielt, welche mit drei verschiedenen Haaren angestellt waren. Auf diese Weise wurden die in obiger Tabelle enthaltenen Resultate gefunden.

Daniell'sches Hygrometer. Die ursprüngliche Daniell'sche Einrichtung, nach welcher das Thermometer, das die Temperatur der Luft anzuzeigen hat, im Fußgestelle des Instrumentes selbst angebracht wird, ist verwerflich, indem Bohnenberger *) durch verschiedene Versuche genügend gezeigt hat, daß das so angebrachte Thermometer in Folge des Einflusses seiner Umgebungen sehr unempfindlich ist, und oft gegen 3° F. von der eigentlichen Lufttemperatur im Freien abweicht.

Eine Modification, die August **) diesem Instrument gegeben hat, besteht darin, daß die Kugel an dem Arme des Instruments, in welchem sich das inwendige Thermometer befindet, so gebogen ist (Fig. 36 ***), daß die Kugel des Thermometers o möglichst nahe an der äußern Oberfläche des Goldreifens sich befindet, so daß die Entfernung e o höchstens zwei pariser Linien beträgt. Diese Einrichtung trifft August, damit die Übereinstimmung zwischen der Temperatur des äußern Umfangs, an welchem sich die atmosphärischen Dünste condensiren und der des Thermometers möglichst genau sey. In der That belehrten ihn viele sehr sorgfältige gleichzeitige Versuche mit Instrumenten von verschiedener Construction, daß die Anzeigen des innern Thermometers beim Entstehen des Hauchringes immer niedriger werden, je weiter das Thermometer von der äußern Oberfläche der Kugel entfernt ist; offenbar eine Folge der schlechten Leitung der Flüssigkeit und des Glases. — Adie wendet zur Beseitigung desselben Übelstandes das Schütteln der Kugel, in welche das innere Thermometer taucht, bei einer et-

*) Naturwissensch. Abhandl. II.

**) August über die Fortschritte der Hygrometrie S. 3. — Eine Zusammenstellung der frühern Modificationen, die das ursprüngliche Daniell'sche Hygrometer von Greiner, Döbereiner, Körner erfahren hat, s. in Gehler's Wörterb. V. S. 616 ff. oder den Suppl. zu Baumg. Phys. S. 259.

***) In dieser Figur ist blos ein Arm des Instruments verzeichnet.

was abgeänderten Einrichtung des Daniell'schen Apparats (die jedoch sonst keine wesentliche Verbesserung mit sich bringt) an, um so die Temperatur schneller durch die ganze Masse der Flüssigkeit zu verbreiten (Schweigg. J. LVI. S. 459).

Hinsichtlich der Beobachtung des Daniell'schen Hygrometers macht August darauf aufmerksam, daß man sich nicht eher für überzeugt halten kann, einen richtigen Versuch gemacht zu haben, als wenn man bemerkt, daß das innere Thermometer in dem Augenblicke, wo äußerlich der Hauchring sichtbar wird, auch zugleich zu sinken aufhört, und mit dem darauf beginnenden Steigen desselben der Hauchring auch wieder verschwindet. Alle andern Beobachtungen sind, wenn es sich um Genauigkeit handelt, mehr oder minder unzulässig, und die Annahme, der eigentliche Condensationspunkt liege zwischen der Temperatur, bei welcher (nach dem innern Thermometer beobachtet) der Hauchring zu entstehen, und der, bei welcher er zu verschwinden scheint, erklärt August für ganz unstatthaft *). Er bemerkt in dieser Hinsicht: „Offenbar entsteht doch diese Verschiedenheit der Temperaturangabe beim Entstehen und Verschwinden des Hauchringes nur durch zu lebhafte Erkaltung des eingeschlossenen Äthers; das innere Thermometer bleibt in solchem Falle vermöge der Trägheit des Quecksilbers ein wenig zurück, zeigt also im ersten Augenblicke des Steigens eine etwas zu hohe Temperatur. Häuft sich nun der Wasserbeschlag an, so braucht er mehr Zeit zum Entweichen und verschwindet erst, wenn das Thermometer wieder bedeutend höher steht, als beim Entstehen des Ringes. Da also beide Beobachtungen eine zu hohe Temperatur geben, so wird durch die Annahme des Mittels der Fehler noch vermehrt, den man auszugleichen beabsichtigt."

Es muß indeß bemerkt werden, daß sowohl für den ersten als für den letzten Fall Umstände vorhanden sind, welche der zu hohen Temperaturangabe entgegenwirken, und in vielen Fällen das Übergewicht erhalten möchten, so daß, da diese Umstände keiner Berechnung fähig sind, hierdurch jedenfalls eine große Unsicherheit in den Angaben des Daniell'schen Instruments herbeigeführt wird, welche es in Nachtheil setzt gegen das nachher ausführlicher zu beschreibende August'sche Psychrometer, das diese Übelstände nicht darbietet.

August selbst bemerkt: daß das Daniell'sche Hygrometer, wenn es sehr sorgfältig beobachtet werde, die Temperatur des Thaupunktes etwas niedriger angeben müsse, als sie wirklich ist, und dieser Fehler um so größer seyn müsse, je weniger Dunst die Luft enthält, gehe schon daraus hervor, daß der Hauchring erst sichtbar werden kann, wenn der Condensationspunkt schon überschritten ist und eine gewisse Quantität von Dunstbläschen die vergoldete Oberfläche der Beobachtungskugel bereits so bedeckt

*) V. Bohnenberger, v. Bürg u. A. haben nämlich den eigentlichen Thaupunkt zugleich mit aus derjenigen Temperatur bestimmen wollen, bei welcher der auf dem Goldstreifen entstandene Thau wieder verschwindet.

hat, daß durch die veränderte Lichtreflexion der Hauchring sichtbar geworden ist. Bei sehr hohen Temperaturen und in sehr trockener Luft gelingen daher Versuche mit dem Daniell'schen Instrumente gar nicht. Dieselbe Unsicherheit theilen mit diesem Hygrometer alle nach Erfindung desselben angegebene ähnliche Vorrichtungen, wie z. B. das Körner'sche Hygrometer und die neuerdings erst von Bohnenberger vorgeschlagene Einrichtung, zufolge welcher um die mit Musselin umwickelte Thermometerkugel ein oben und unten offener Cylinder von nicht viel größerm Durchmesser als die Thermometerkugel befestigt wird, der eine vergoldete äußere Oberfläche hat, in dessen innern Raum man von oben her Äther träufelt, damit er die Thermometerkugel mit dem umgebenden Cylinder bis zur Condensationskälte abkühle, deren Eintritt durch den an der Oberfläche des Cylinders entstehenden Hauchring angezeigt wird. August versichert mit einem Hygrometer von dieser Einrichtung bis jetzt noch keine genügende Beobachtung haben zu Stande bringen zu können.

Muncke *) rügt denselben Umstand am Daniell'schen Hygrometer, und führt in diesem Bezuge folgende Erfahrung an: „Als ich im Jahre 1814 die Dichtigkeit der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten aufzufinden mich bemühte, hatte ich gewogene Quantitäten Wasser in einem Ballon von dem klarsten englischen Glase eingeschlossen, und suchte durch den Wechsel der Temperatur denjenigen Punkt zu finden, bei welchem zwar noch kein Niederschlag an der innern Wandung des Ballons gebildet würde, unter welcher aber derselbe sogleich entstand. Ob es nun gleich viel leichter ist, die geringste Trübung so ausnehmend klaren englischen Glases bei durchfallendem Lichte wahrzunehmen, als eine Verbindung (?) des metallischen glänzenden Goldes, so weiß ich doch sehr wohl, daß ich nie zu genauen Resultaten gelangt seyn würde, wenn mir nicht das zweite Mittel zu Gebote gestanden hätte, nämlich den feuchten Niederschlag durch Temperaturerhöhung wieder verschwinden zu machen, und durch lange anhaltende Anwendung beider Methoden gelang es mir denn endlich, die gesuchten Werthe genau zu erhalten."

Als ein Umstand ferner, welcher eine zu niedrige Temperaturangabe beim Wiederverschwinden des Dampfringes zu bewirken strebt, muß der angesehen werden, daß, wenn die Ätherkugel von außen erwärmt wird, die aufgenommene Wärme erst durch den Äther und dessen Dampf dringen muß, ehe sie die Thermometerkugel erreicht, so daß der Hauchring in derselben Zeit schon einen größern Effect erfahren haben muß, als durch das Thermometer angezeigt werden kann.

August's Psychrometer. Die Erfindung des August'schen Hygrometers datirt sich zwar schon von 1825; indeß will ich, da seine Anwendung neuerdings immer allgemeiner geworden ist, und man darin übereinzustimmen scheint, daß sie den Vorzug vor der des Daniell'schen Instru-

*) Gehler's Wörterb. V. Art. Hygrometer. S. 652.

ments verdiene *), auch einige frühere Data von August seitdem näher bestimmt, entwickelt oder berichtigt worden sind, die Einrichtung, den Gebrauch und die Grundsätze, auf die sich dies Instrument stützt, näher auseinander setzen **), in solcher Art, daß die Einsicht in seine Anwendung möglichst erleichtert werde.

Erfindung und Princip des Instruments ***). August bemerkte, als er des jüngern de la Rive Vorschlag, den Dunstgehalt der Atmosphäre durch die Wärmezunahme eines mit Schwefelsäure benetzten und frei aufgehangenen Thermometers zu messen, durch gleichzeitige Beobachtungen des Daniell'schen Instruments prüfte, und nach jedem Versuche die angewandten Thermometer in Wasser wieder abspülte, daß diese, so lange sie benetzt waren, einen festen Stand ziemlich genau in der Mitte zwischen der Luftwärme und dem durch das Daniell'sche Instrument angezeigten Thaupunkte behaupteten. Es leuchtet sonach ein, daß, wenn man zwei Thermometer hat, deren eins die Lufttemperatur anzugeben dient, das andre die Temperatur des constanten Punkts, bis zu dem es durch Benetzung sinkt, so würde man die Temperaturdifferenz beider Thermometer nur zu verdoppeln haben, um die Anzeige derselben ganz auf die des Daniell'schen Instruments zurückzuführen, wenn wirklich der Stand des befeuchteten Thermometers genau das Mittel hielte. Da aber dies nur annäherungsweise der Fall ist, so entwickelte August eine Formel, nach welcher sich direct und ohne Bezug auf das Daniell'sche Instrument aus dem Stande der beiden Thermometer der Feuchtigkeitszustand der Luft bestimmen läßt, bei welcher Entwickelung er folgende Betrachtungen zu Grunde legte: So lange ein Thermometer, dessen Kugel mit Wasser benetzt ist, sinkt, so lange tritt dasselbe einen Theil der Wärme des Quecksilbers und Glases an das umgebende Wasser ab, welches denselben beim Verdunsten bindet; wenn aber der constante Punkt, den wir Verdunstungskälte nennen wollen, eingetreten ist, so ist dieß ein Zeichen, daß das dann verdunstende Wasser dem Thermometer keine Wärme mehr entzieht, sondern daß die Verdunstung nur auf Kosten derjenigen Wärme geschieht, welche die zunächst liegende Luft verliert, während sie von der Luftwärme sich bis

*) Vgl. Muncke in Gehler's Wörterb. VI. S. 652. — Bohnenberger in naturwiss. Abh. II. — Baumgartner in seiner Zeitschr. IV. S. 74. V. S. 304.

**) Eine Literatur darüber ist, außer den Zusammenstellungen in Gehler's Wörterb. Art. Hygrometer und Suppl. zu Baumg. Phys. S. 265 folgende: August in Pogg. Ann. V. S. 69, 335. XIV. S. 137. — Derselbe in drei kleinen Gelegenheitsschriften: 1) Über die Anwendung des Psychrometers zur Hygrometrie. Berlin 1828; 2) Tafeln, Formeln und Beobachtungen, das Psychrometer betreffend, Berlin 1828; 3) über die Fortschritte der Hygrometrie in der neuesten Zeit, Berlin 1830. — Baumgartner und Bürg in Baumg. Zeitschr. IV. S. 60. V. S. 293. — Bohnenberger in naturwiss. Abh. 1828. II. S. 179. — Schübler in Schweigg. J. LVIII. S. 211.

***) Das Leslie'sche Hygrometer beruht auf ähnlichen Grundsätzen, es ist aber dabei ein Differenzialthermometer angewendet.

zum Verdunstungspunkte abkühlt. Hinsichtlich der weitern Betrachtungen, durch die August die nachher anzuführenden Regeln zur Bestimmung des Feuchtigkeitszustandes der Luft aus der Angabe seines Instruments ableitet, müssen wir auf seine Abhandlungen verweisen.

Beschreibung des Instruments. Die wesentlichen Theile des Instruments sind nach dem Vorstehenden zwei Thermometer, deren eines dient, die Lufttemperatur anzugeben, während die Kugel des andern mit Wasser benetzt, und der constante Punkt, bis zu dem es sinkt, notirt wird.

Folgendes ist die mit der August'schen Einrichtung im Wesentlichen vollkommen übereinstimmende Construction desselben, wie es von Weilhöfer in Wien verfertigt wird *).

a b c d (Fig. 37) ist ein messingener Rahmen, innerhalb dessen sich zwei auf einander liegende Glastafeln befinden, wovon eine matt geschliffen ist. Auf diese sind neben einander die zwei Thermometer e und f befestigt, die sehr empfindlich sind, indem $\frac{1}{10}$° C. noch $\frac{1}{4}$ Lin. groß ist, ihre Scale reicht von — 25° C. bis 50° C. Eines derselben, nämlich f ist an der Kugel mit Musselin überzogen und zum Benetzen bestimmt, die Kugel hängt frei in einem runden Ausschnitt des Rahmens, das andere unterscheidet sich von einem gewöhnlichen Thermometer in nichts, und dient blos zur Angabe der Lufttemperatur. Zwischen den zwei Thermometern befindet sich ein kleines gläsernes, mit reinem Wasser gefülltes Gefäß g, durch dessen messingenen Deckel geht eine $\frac{1}{2}$ L. weite Glasröhre, die einen Baumwollfaden von der Kugel des Thermometers f in das Wasser führt. Dieser Faden zieht durch Capillarität das Wasser beständig in die Höhe und bringt es an die Thermometerkugel, so daß man in jedem Augenblick, ohne einen besonderen Versuch anstellen zu müssen, den Unterschied im Stande beider Thermometer beobachten und daraus die Feuchtigkeit in der Luft abnehmen kann. Es ist begreiflich, daß beide Thermometer sehr genau mit einander übereinstimmen und einerlei Empfindlichkeit besitzen müssen, darum sollen auch beide gleich weite Röhren und gleich große Kugeln haben.

Das Psychrometer kann auch beobachtet werden, wenn das Wasser gefriert, wobei das beste Verfahren nach August folgendes ist: Man läßt beide Thermometer ohne Umhüllung und nimmt auch den Baumwollfaden fort. Während nun das Instrument in der niedrigen Temperatur sich irgendwo befindet, z. B. auf dem Gesims eines Fensters außerhalb, nimmt man ein kleines Gefäß mit reinem Wasser und hebt es unter der Kugel des zu netzenden Thermometers so empor, daß diese eingetaucht **) und ver-

*) Suppl. zu Baumg. Physik. S. 265. — Andre Abbildungen siehe in Gehler's Wörterb. B. V. Taf. XV. Fig. 147; August üb. die Fortschr. der Hygrometrie Fig. 2. — Greiner jun. in Berlin verfertigt das Psychrometer von vorzüglicher Güte für 15 Thlr.

**) Bei der Weilhöfer'schen Einrichtung, wo die Kugel in einem Ausschnitte hängt, möchte dies allerdings nicht wohl angehen; dagegen bei der August'schen die Kugel ganz frei hängt.

möge der Adhäsion des Wassers vom Glase benetzt wird. Überläßt man nun das Instrument sich selber, so bemerkt man jedesmal ein rasches Sinken bis mehrere Grade unter 0, darauf ein plötzliches Steigen bis 0,2 oder 0,0, auf welchem Punkte es dann fast fünf Minuten verharrt, bevor es wieder zu sinken anfängt. Während dieser Zeit geschieht die Vereisung des Wassers an der Oberfläche des eingetauchten Thermometers, und es giebt, beiläufig gesagt, keinen bestimmteren und kürzeren Versuch über die Erscheinung der frei werdenden Wärme beim Gefrieren des Wassers als diesen. Wenn nun dem beeiseten Psychrometer Zeit gelassen wird, seinen niedrigen Stand zu erhalten, welches nach etwa 10 — 15 Minuten geschehen ist, so behält es diesen eben so constant, wie das befeuchtete Thermometer bei höheren Temperaturen. Die Differenz ist aber jederzeit nur geringe, theils, weil im Winter die Luft größtentheils dem Sättigungspunkte sehr nahe ist, theils weil überhaupt in diesen niederen Temperaturen geringere Differenzen der Expansivkraft auf größere Abstände des Thaupunktes von der Luftwärme schließen lassen. Man thut wohl, nach jeder Beobachtung das Eintauchen zu wiederholen, damit sich die Eisrinde fortdauernd um das Thermometer erhalte.

Die Regel zur Berechnung des Feuchtigkeitszustandes aus der Angabe des Psychrometers muß etwas modificirt werden, je nachdem es mit tropfbarem Wasser benetzt, oder mit Eis bedeckt worden, wie weiterhin angegeben werden wird.

Gebrauch des Instruments. Die Data der Beobachtung, welche man durch das Instrument erhält, sind die absoluten Temperaturen beider Thermometer und ihre Differenz, wobei zugleich der Barometerstand aufzuzeichnen ist (untereinander zusammenhängenden); die Größen, welche hiernach bestimmt werden sollen, sind: 1) die Spannkraft des in der Luft zur Zeit der Beobachtung vorhandenen Wasserdunstes; 2) der Thaupunkt, d. i. die Temperatur, bis zu welcher sich die Luft abkühlen müßte, damit aus ihr ein Niederschlag erfolgte; 3) der Sättigungszustand der Luft, d. i. das Verhältniß der in der Luft vorhandenen Dunstmenge zu dem Maximum der Dunstmenge, die sie bei der bestehenden Temperatur enthalten könnte; 4) das absolute Gewicht Dunst, welches ein gegebenes Volumen der Luft enthält.

1) Bestimmung der Spannkraft des Dunstes. Um nach den Datis der Beobachtung diese Bestimmung vornehmen zu können, ist vor allem erforderlich, für die Temperatur des feuchten Thermometers die Spannung zu kennen, welche der Dunst bei dieser Temperatur im Maximum der Dichtigkeit haben würde. Nun findet man in jedem Lehrbuche der Physik *) Tabellen, welche die den verschiedenen Temperaturen entsprechende Dunstspannung im Maximum angeben, allein da diese Tabellen meist blos von Grad zu Grad fortschreiten, die Beobachtungen mit dem Psychrometer aber viel kleinere Differenzen der Temperatur zu unterscheiden nöthig machen, so

*) Biot. I. S. 303; Gehler's Wörterb. II. S. 351 u. a.

hat August zu diesem Behufe nach einer von ihm aufgestellten, innerhalb der bei diesen Beobachtungen vorkommenden Temperaturen der Erfahrung gehörig Genüge leistenden, Formel die Dunstspannung im Maximum von — 29° R. bis + 29° R. auch für Zehntelgrade berechnet *), welche Tabelle (Tab. I.) ich zum Schlusse dieses Artikels folgen lassen werde.

Man suche demnach aus dieser (oder irgend einer andern) Tabelle zu der Temperatur des feuchten Thermometers die entsprechende Dunstspannung in der Tabelle auf, in welcher man die ganzen Grade in der ersten Längenspalte, die Zehntelgrade in der ersten Querreihe angedeutet findet. Die beim Zusammentreffen der zu den ganzen Graden gehörigen Querreihe und der zu den Zehnteln gehörigen Längenspalte gefundene Zahl drückt in Pariser Linien die gesuchte Spannkraft des Wasserdunstes im Maximum bei der Temperatur des feuchten Thermometers aus.

Hätten nun beide Thermometer des Psychrometers keinen Unterschied, sondern gäbe das feuchte genau dieselbe Temperatur an, welche das trockne zeigt, so würde die auf diese Weise in der Tafel gefundene Zahl unmittelbar die wirkliche Spannung des Dunstes in der Atmosphäre anzeigen (weil dann der Dunst in der Atmosphäre im Maximum und die Luft so feucht sein müßte, daß sie keinen Dunst mehr aufnehmen könnte).

In den Fällen aber, wo das trockene Thermometer höher steht, muß man $\frac{3}{8}$ dieser durch Reaumursche Grade ausgedrückten Temperaturdifferenz (oder wenn das feuchte Thermometer beeist ist, nur $\frac{1}{3}$) von jener in der Tabelle aufgesuchten Zahl (die das Spannungsmaximum angiebt) subtrahiren, um (wenn der Barometerstand der mittlere von 336 Par. Lin. ist) gleichfalls in Pariser Linien die Spannung des in der Atmosphäre befindlichen Dunstes zu erhalten. Ist der Barometerstand beträchtlich größer oder kleiner als 336 Par. Lin., so muß man noch $\frac{11}{10000}$ (oder wenn das Therm. beeist ist, bloß $\frac{1}{1000}$) dieser Abweichung mit dem Unterschiede beider Thermometer multipliciren, und im Falle eines größern Barometerstandes dieses

*) Für Reaumur'sche Grade ist diese Formel folgende:

$$\log.\ e' = 0{,}3506511 + \frac{7{,}9817243\ t'}{213{,}4878 + t'}$$

wo $e'$ das Spannungsmaximum in Pariser Linien Quecksilberhöhe bezeichnet, welches der Temperatur $t'$ zugehört. Für Centesimalgrade verwandelt sie sich in folgende:

$$\log.\ e' = \frac{23{,}945371\ t'}{800 + 3\,t'} = 2{,}2960383$$

Diese Formel, deren nähere Herleitung August in Pogg. Ann. XIII. 122 gegeben hat, kann nur als Interpolationsformel, gültig für Temperaturen, wie sie bei Psychrometer-Beobachtungen vorkommen, angesehen werden, da sie für höhere Temperaturen die Spannung stärker wachsen läßt, als nach wirklichen Beobachtungen der Fall. Übrigens kann man sich auch, wenn man will, Tabellen, die nach anderen Formeln als den hier angegebenen berechnet sind, bedienen, ohne daß dies im Übrigen das oben weiter aus einander gesetzte Verfahren ändern wird.

Product zu der schon gefundenen Größe hinzufügen, bei einem niedrigern Barometerstande davon abziehen *).

Erläutern wir diese Regel durch ein Beispiel:

Am 20sten Mai 1827 um $2\frac{1}{2}$ Uhr Nachmittags beobachtete Erman bei 338‴,23 Barometer Folgendes:

Stand des trocknen Thermometers . . . . 19°,1 R.
Stand des feuchten Thermometers . . . 11°,1 R.
mithin Differenz **) . . . . . . . . . 8°

Um hieraus die Spannung des atmosphärischen Dunstes zu berechnen, suchen wir die zu 11°,1 gehörige Spannung in der Tafel S. 214 auf: man findet 5,56; von dieser Zahl subtrahirt man $\frac{3}{8}$ der beobachteten Temperaturdifferenz, welches in diesem Falle 3,00 beträgt. Die Subtraction giebt 2‴,56. Da aber das Barometer 2 Linien höher als 336‴ ***) stand, so ist noch $0{,}0022 \times 8 = 0{,}02$ von der gefundenen Zahl zu subtrahiren. Man erhält also auf diese Weise

$$5{,}56 - \tfrac{3}{8} \times 3{,}00 - 0{,}0022 \times 8 = 2''',54$$

als Expansion des in der Luft enthaltenen Dunstes.

Die vorige Regel ist übrigens nur eine Annäherung, die jedoch hinreichend groß ist, daß die Abweichung von der genauern Regel, die wir jetzt mittheilen wollen, im Allgemeinen vernachlässigt werden kann. Diese genauere Regel ist für Reaumursche Grade folgende:

Um die Spannung des in der Luft vorhandenen Dunstes zu finden, nimm das Product aus folgenden 3 Größen: 1) die Zahl 0,558; 2) die Temperaturdifferenz beider Thermometer; 3) den in Pariser Linien ausgedrückten Barometerstand; dividire dieses Product mit dem Reste, welcher bleibt, wenn von 512 ****) die Temperatur des feuchten Thermometers abgezogen wird, und ziehe den so erhaltenen Quotienten von dem Spannungsmaximum ab, welches nach der Tabelle der Temperatur des feuchten Thermometers zugehört *****).

*) Diese Regel läßt sich (für Reaumursche Grade) auf folgende Formeln bringen, wovon die erste für Beobachtungen des bloß nassen, die andere für Beobachtungen des mit einer Eisrinde überzogenen Psychrometers gültig ist. Es ist darin x die gesuchte Spannung des in der Luft vorhandenen Wasserdunstes; e' das Maximum der Spannung des Dunstes, welche der Temperatur t' des feuchten oder beeisten Thermometers zukommt, t die Temperatur des trockenen Thermometers, b der (auf 0° reducirte) Barometerstand in Par. Linien.

$$x = e' - \tfrac{3}{8}(t - t') - 0{,}0011\,(336 - b)\,(t - t')$$
$$x = e' - \tfrac{1}{3}(t - t') - 0{,}0010\,(336 - b)\,(t - t').$$

**) Selten wird eine so hohe Differenz beobachtet.

***) Die Bruchtheile der Linien beim Barometerstande kann man nämlich ohne merklichen Irrthum außer Acht lassen.

****) Wenn das Thermometer mit Eis bedeckt ist, 572 statt 512.

*****) Diese Regel wird durch folgende Formeln für Reaumur'sche Grade ausgedrückt, wovon die erste für Beobachtungen des bloß nassen, die andere für

Das vorige Beispiel, nach dieser genaueren Regel berechnet, würde folgendes Resultat geben:

$$5{,}56 - \frac{0{,}558 \cdot 8 \cdot 338{,}23}{512 - 11{,}1\ ^{*})} = 2{,}55$$

welches, wie man sieht, mit dem nach der angenäherten Regel erhaltenen Werthe merklich übereinstimmt.

2) **Bestimmung des Thaupunkts.** Wenn man die Spannung des in der Luft vorhandenen Dunstes kennt, so ergiebt sich unmittelbar der Thaupunkt, wenn man zu dieser Spannung die in der Tabelle zugehörige Temperatur sucht. Mithin würde bei dem angeführten Beispiele 1°,5 der Thaupunkt sein **).

Beobachtungen des mit einer Eisrinde überzogenen Psychrometers gültig ist. (Die Buchstaben haben dieselbe Bedeutung als S. 209 Anm.)

$$x = e' - \frac{0{,}558\ (t - t')\ b}{512 - t'}$$

$$x = e' - \frac{0{,}558\ (t - t')\ b}{572 - t'}$$

Für Centesimalgrade würde man statt dieser Formeln respectiv folgende anzuwenden haben:

$$x = e' - \frac{0{,}558\ (t - t')\ b}{640 - t'}$$

$$x = e' - \frac{0{,}558\ (t - t')\ b}{715 - t'}$$

Dies sind die Formeln, wie sie August in seiner neuesten Darstellung (Über die Fortschritte der Hygrometrie S. 7, 13, 30) angiebt. Die früher von ihm angewandten waren nicht ganz richtig entwickelt (Pogg. V. 76), insofern dabei die latente Wärme des Wasserdunstes unter allen Temperaturen als ungeändert angenommen worden war; auch schließen sie sich minder gut als die obigen, deren Herleitung er erst künftig zu geben verspricht, an die Erfahrungen an. Bemerkt mag werden, daß die vorigen Formeln aus folgender entstanden sind:

$$x = e' - \frac{0{,}558\ (t - t')\ b}{\lambda - t'}$$

wo $\lambda$ die latente Wärme des Dunstes bei 0° bezeichnet, wenn das Thermometer feucht ist; oder die latente Wärme des tropfbaren Wassers, wenn das Thermometer mit Eis bedeckt ist.

Die Formel, welche Baumgartner in seinen Supplementen (S. 268) entwickelt, stimmt mit der frühern von August überein.

*) Unstreitig durch Versehen schreibt August bei diesem Beispiel 19,1 statt 11, denn nach seiner Formel ist nicht t, sondern t' abzuziehen.

**) Um direct aus den Angaben des Psychrometers den Thaupunkt t'' zu finden, dient nach August folgende Formel:

für Reaumur'sche Grade:

$$t'' = 213{,}4878\ \frac{\log.\ x - 0{,}3506511}{8{,}3323754 - \log.\ x}$$

3) **Bestimmung des Sättigungszustandes der Luft.** Man dividire die Spannung, welche der Dunst in der Luft hat, mit der Maximumspannung, welche der durch das trockene Thermometer angezeigten Temperatur nach der Tabelle zugehören würde; so erhält man das Sättigungsverhältniß.

Um bei dem vorigen Beispiele stehen zu bleiben, so findet man aus der Tabelle, daß der Temperatur 19°,1 das Spannungsmaximum 10,14 entspricht. Man dividire mithin 2,55 durch 10,14, so findet man

$$\frac{2{,}55}{10{,}14} = 0{,}245$$

4) **Bestimmung des Gewichts Dunst, welches ein gegebenes Volumen Luft enthält.** Man kennt aus Tabellen, welche sich in physikalischen Lehrbüchern finden (eine Tabelle von August ist zum Schlusse des Artikels beigefügt), das Gewicht Dunst, welches sich, wenn der Raum bei einer gewissen Temperatur mit Dunst gesättigt ist, in einem gegebenen Volumen desselben findet. Man suche dies Gewicht für die Temperatur des trocknen Thermometers auf und multiplicire es mit dem Bruch, welcher nach 3) das beobachtete Sättigungsverhältniß ausdrückt, so hat man das Verlangte.

So findet man aus Tabelle II. zum Schluß des Artikels, daß bei 19°,1 R. 14,85 Grane Feuchtigkeit in 1 Cub. Fuß Luft beim Maximum der Dichtigkeit enthalten sind, dies mit 0,245 multiplicirt, giebt 3,64 Gran als Menge der Feuchtigkeit, welche unter den Umständen der Beobachtung in 1 Cub. Fuß Luft enthalten war *).

**Beweise für die Richtigkeit der August'schen Regel.** Da die Formel, auf welche die August'sche Regel zur Berechnung der Spann-

für Centesimalgrade:

$$t'' = \frac{800}{3} \cdot \frac{2{,}2960883 + \log. x}{5{,}6857520 - \log. x}$$

wo x durch die Formeln S. 210 bestimmt wird.

Meikle (Philos. J. Nr. 3. p. 31) berechnet bei mittlerm Barometerstande den Thaupunkt unmittelbar nach folgender Formel:

für Reaumur'sche Grade:

$$t'' = t - \frac{(t - t')(t - t' + 44)}{t' + 14{,}4}$$

für Centesimalgrade:

$$t'' = t - \frac{(t - t')(t - t' + 55)}{t' + 18}$$

Diese Formel giebt in der That den Thaupunkt ebenfalls ziemlich scharf an.

*) Man kann auch nach August das Gewicht y des in 1 Pariser Cubikfuß Luft bei der Temperatur t (R.) und der Spannung x (welche nach 1) bestimmt wird) enthaltenen Feuchtigkeit direct nach folgender Formel bestimmen:

$$y = \frac{1{,}63\, x}{1 + 0{,}005\, t} \text{ Gran.}$$

kraft des Wasserdunstes und der damit zusammenhängenden Umstände sich stützt, einer theoretischen Combination der verschiedenen, bei den Umständen der Beobachtungen in Betracht kommenden, Elemente ihren Ursprung verdankt, so war es von Wichtigkeit, durch Erfahrung zu zeigen, ob die so erhaltene Regel nun auch wirklich den Beobachtungen genüge. August führt 3 Thatsachen an, welche dieser Richtigkeit gar sehr das Wort reden.

1) Gay-Lussac hat gegen ein feuchtes Thermometer künstlich ausgetrocknete Luft strömen lassen und bei verschiedenem Druck und verschiedener Wärme die Verdunstungskälte beobachtet. Berechnet man nun nach August's Regel aus diesen Beobachtungen die Spannkraft des Wasserdunstes in der anströmenden Luft, so findet man sie merklich null, wie sie in der That wegen der Austrocknung null war. Zur Vergleichung hebt er folgende 4 von Gay-Lussac's Versuchen aus:

| Barometer b | Luftwärme t | Verdunstungskälte t′ | Spannkraft e |
|---|---|---|---|
| 336,9‴ | 0,0° R. | — 4,7° R. | — 0,04‴ Par. |
| 336,9‴ | 20,0° | + 8,2 | + 0,03‴ |
| 288,2‴ | 10,0 | + 1,6 | + 0,05‴ |
| 221,6‴ | 10,0 | + 0,4 | + 0,00‴ |

Die Abweichungen betragen, wie man sieht, nur Hunderttheile einer Linie, so daß sie füglich übersehen werden dürfen.

2) Wenn man in einem geräumigen geheizten Zimmer bei verschlossenen Fenstern und Thüren, so daß man überall gleichen Feuchtigkeitszustand der Luft voraussetzen kann, zur Winterszeit Beobachtungen mit dem Psychrometer nahe den Fenstern und nahe dem Ofen anstellt (wobei man das Instrument durch ein Blatt Papier gegen die Einwirkung der Stralwärme schützen muß), so werden die Thermometer einen ungleichen Stand zeigen. Berechnet man aber nach der gegebenen Regel die Expansivkraft des in der Luft enthaltenen Wasserdunstes, so erhält man dieselbe Größe, wie in der That der Fall sein muß, da der in der Nähe des Ofens mit der Luft zugleich erwärmte Wasserdunst, wenn er sich ausdehnt, doch deshalb, weil er sich ausdehnen kann, seine Expansivkraft nicht ändert. Zum Belege ist in August's Fortschritten S. 22 ein Versuch beigefügt.

August nimmt von diesen Versuchen zugleich Veranlassung, die von Muncke in Gehlers Wörterb. VI. 652 erörterte Vermuthung für widerlegt zu halten, nach welcher die Verdunstungskälte des feuchten Thermometers stets den wahren Thaupunkt ergeben soll, während ihn das Daniell'sche Instrument zu tief finden lasse. Wenn nämlich diese Ansicht richtig wäre, so hätte das feuchte Thermometer bei den in Rede stehenden Versuchen in der Nähe und Ferne des Ofens einen gleichen Stand zeigen müssen, während August eine Differenz von 0,8° R. wahrnahm, die nicht als Beobachtungsfehler erklärbar war.

3) Wenn man den Thaupunkt nach der August'schen Regel aus Psychrometer-Beobachtungen berechnet und mit gleichzeitig angestellten, sorgfäl-

tigen, directen Beobachtungen des Thaupunkts mittelst des Daniell'schen Instruments vergleicht, so findet man die beste übereinstimmung beider.

Einen Beleg zu dieser übereinstimmung findet man bei August in seinen Fortschritten der Hygrometrie S. 18, 21, 30, in seinen Tafeln, Formeln u. s. w. S. 3 ff.; von Schübler in Schweigg. J. LVIII. 214.

## Tabelle I.

Spannkräfte des Wasserdunstes im Maximum für Reaumur'sche Grade und Pariser Linien.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| — 29 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| 28 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,12 | 0,12 | 0,12 |
| 27 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,14 |
| 26 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,15 |
| 25 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,17 |
| — 24 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,19 |
| 23 | 0,24 | 0,24 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 |
| 22 | 0,27 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,24 | 0,24 |
| 21 | 0,30 | 0,29 | 0,29 | 0,29 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,27 | 0,27 |
| 20 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,32 | 0,32 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,30 | 0,30 |
| — 19 | 0,37 | 0,36 | 0,36 | 0,36 | 0,35 | 0,35 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,33 |
| 18 | 0,41 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,39 | 0,39 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,37 |
| 17 | 0,45 | 0,45 | 0,44 | 0,44 | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,42 | 0,42 | 0,41 |
| 16 | 0,50 | 0,50 | 0,49 | 0,49 | 0,48 | 0,48 | 0,47 | 0,47 | 0,46 | 0,46 |
| 15 | 0,56 | 0,55 | 0,54 | 0,54 | 0,53 | 0,53 | 0,52 | 0,52 | 0,51 | 0,51 |
| — 14 | 0,62 | 0,61 | 0,60 | 0,59 | 0,59 | 0,58 | 0,58 | 0,57 | 0,57 | 0,56 |
| 13 | 0,68 | 0,67 | 0,66 | 0,66 | 0,65 | 0,64 | 0,64 | 0,63 | 0,62 | 0,62 |
| 12 | 0,75 | 0,74 | 0,73 | 0,73 | 0,72 | 0,71 | 0,70 | 0,70 | 0,69 | 0,68 |
| 11 | 0,82 | 0,82 | 0,81 | 0,80 | 0,79 | 0,78 | 0,77 | 0,77 | 0,76 | 0·75 |
| 10 | 0,90 | 0,90 | 0,89 | 0,88 | 0,87 | 0,86 | 0,85 | 0,85 | 0,84 | 0,83 |
| — 9 | 0,99 | 0,98 | 0,97 | 0,97 | 0,96 | 0,95 | 0,94 | 0,93 | 0,92 | 0,91 |
| 8 | 1,09 | 1,08 | 1,07 | 1,06 | 1,05 | 1,04 | 1,03 | 1,02 | 1,01 | 1,00 |
| 7 | 1,20 | 1,19 | 1,18 | 1,16 | 1,15 | 1,14 | 1,13 | 1,12 | 1,11 | 1,10 |
| 6 | 1,31 | 1,30 | 1,29 | 1,28 | 1,27 | 1,25 | 1,24 | 1,23 | 1,22 | 1,21 |
| 5 | 1,44 | 1,43 | 1,41 | 1,40 | 1,39 | 1,38 | 1,36 | 1,35 | 1,34 | 1,33 |
| — 4 | 1,57 | 1,56 | 1,55 | 1,54 | 1,52 | 1,50 | 1,49 | 1,48 | 1,46 | 1,45 |
| 3 | 1,72 | 1,71 | 1,69 | 1,68 | 1,66 | 1,65 | 1,63 | 1,62 | 1,60 | 1,59 |
| 2 | 1,88 | 1,86 | 1,85 | 1,83 | 1,81 | 1,80 | 1,78 | 1,77 | 1,75 | 1,74 |
| 1 | 2,05 | 2,03 | 2,02 | 2,00 | 1,98 | 1,96 | 1,95 | 1,93 | 1,92 | 1,90 |
| 0 | 2,24 | 2,22 | 2,20 | 2,18 | 2,16 | 2,14 | 2,12 | 2,11 | 2,09 | 2,07 |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| + 0 | 2,24 | 2,26 | 2,28 | 2,30 | 2,32 | 2,34 | 2,36 | 2,38 | 2,40 | 2,42 |
| 1 | 2,44 | 2,46 | 2,48 | 2,50 | 2,52 | 2,54 | 2,57 | 2,59 | 2,61 | 2,63 |
| 2 | 2,66 | 2,68 | 2,70 | 2,72 | 2,75 | 2,77 | 2,79 | 2,82 | 2,84 | 2,86 |
| 3 | 2,89 | 2,91 | 2,94 | 2,96 | 2,99 | 3,01 | 3,04 | 3,06 | 3,09 | 3,11 |
| 4 | 3,14 | 3,16 | 3,19 | 3,22 | 3,24 | 3,27 | 3,30 | 3,33 | 3,35 | 3,38 |
| + 5 | 3,41 | 3,44 | 3,47 | 3,49 | 3,52 | 3,55 | 3,58 | 3,61 | 3,64 | 3,67 |
| 6 | 3,70 | 3,73 | 3,76 | 3,79 | 3,82 | 3,85 | 3,89 | 3,92 | 3,95 | 3,98 |
| 7 | 4,01 | 4,05 | 4,08 | 4,11 | 4,15 | 4,18 | 4,21 | 4,25 | 4,28 | 4,31 |
| 8 | 4,35 | 4,38 | 4,42 | 4,46 | 4,49 | 4,53 | 4,56 | 4,60 | 4,64 | 4,67 |
| 9 | 4,71 | 4,75 | 4,79 | 4,82 | 4,86 | 4,90 | 4,94 | 4,98 | 5,02 | 5,06 |
| + 10 | 5,10 | 5,14 | 5,18 | 5,22 | 5,26 | 5,30 | 5,34 | 5,38 | 5,43 | 5,47 |
| 11 | 5,51 | 5,56 | 5,60 | 5,64 | 5,69 | 5,73 | 5,78 | 5,82 | 5,87 | 5,91 |
| 12 | 5,96 | 6,00 | 6,05 | 6,10 | 6,14 | 6,19 | 6,24 | 6,29 | 6,34 | 6,38 |
| 13 | 6,43 | 6,48 | 6,53 | 6,58 | 6,63 | 6,68 | 6,74 | 6,79 | 6,84 | 6,89 |
| 14 | 6,94 | 7,00 | 7,05 | 7,10 | 7,16 | 7,21 | 7,27 | 7,32 | 7,38 | 7,43 |
| + 15 | 7,49 | 7,54 | 7,60 | 7,66 | 7,72 | 7,77 | 7,83 | 7,89 | 7,95 | 8,01 |
| 16 | 8,07 | 8,13 | 8,19 | 8,25 | 8,31 | 8,38 | 8,44 | 8,50 | 8,56 | 8,63 |
| 17 | 8,69 | 8,76 | 8,82 | 8,89 | 8,95 | 9,02 | 9,09 | 9,15 | 9,22 | 9,29 |
| 18 | 9,36 | 9,42 | 9,49 | 9,56 | 9,62 | 9,70 | 9,77 | 9,85 | 9,92 | 9.99 |
| 19 | 10,06 | 10,14 | 10,21 | 10,28 | 10,36 | 10,43 | 10,51 | 10,59 | 10,66 | 10,74 |
| + 20 | 10,82 | 10,90 | 10,98 | 11,05 | 11,13 | 11,21 | 11,29 | 11,37 | 11,46 | 11,54 |
| 21 | 11,62 | 11,71 | 11,79 | 11,87 | 11,96 | 12,04 | 12,13 | 12,22 | 12,30 | 12,39 |
| 22 | 12,48 | 12,57 | 12,66 | 12,75 | 12,84 | 12,93 | 13.02 | 13,11 | 13,20 | 13,30 |
| 23 | 13,39 | 13,48 | 13,58 | 13,67 | 13,77 | 13,87 | 13,96 | 14,06 | 14,16 | 14,26 |
| 24 | 14,36 | 14,46 | 14,56 | 14,66 | 14,76 | 14,87 | 14,97 | 15,07 | 15,18 | 15,28 |
| + 25 | 15,39 | 15,50 | 15,60 | 15,71 | 15,82 | 15,93 | 16,04 | 16,15 | 16,26 | 16,37 |
| 26 | 16,48 | 16,60 | 16,71 | 16,83 | 16,94 | 17,06 | 17,17 | 17,29 | 17,41 | 17,53 |
| 27 | 17,65 | 17,77 | 17,89 | 18,01 | 18,13 | 18,25 | 18,38 | 18.50 | 18,63 | 18,75 |
| 28 | 18,88 | 19,01 | 19,14 | 19,26 | 19,39 | 19,52 | 19,66 | 19,79 | 19,92 | 20,05 |
| 29 | 20,19 | 20,32 | 20,46 | 20,60 | 20,73 | 20,87 | 21,01 | 21,15 | 21,29 | 21,43 |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Digitized by Google

## Tabelle II.

Bestimmung des Dunstgewichts *) im Maximum für Pariser Cubikfuß und Reaumur'sche Grade.

| Grade | Gran | Grade | Gran | Grade | Gran | Grade | Gran | Grade | Gran |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| — 20 | 0,60 | — 10 | 1,54 | + 0 | 3,65 | 10 | 7,90 | 20 | 15,88 |
| — 19 | 0,66 | — 9 | 1,69 | + 1 | 3,96 | 11 | 8,50 | 21 | 16,97 |
| — 18 | 0,73 | — 8 | 1,85 | + 2 | 4,29 | 12 | 9,14 | 22 | 18,11 |
| — 17 | 0,81 | — 7 | 2,03 | + 3 | 4,64 | 13 | 9,81 | 23 | 19,32 |
| — 16 | 0,89 | — 6 | 2,23 | + 4 | 5,01 | 14 | 10,53 | 24 | 20,60 |
| — 15 | 0,98 | — 5 | 2,42 | + 5 | 5,42 | 15 | 11,30 | 25 | 21,96 |
| — 14 | 1,08 | — 4 | 2,63 | + 6 | 5,86 | 16 | 12,11 | 26 | 23,38 |
| — 13 | 1,18 | — 3 | 2,86 | + 7 | 6,33 | 17 | 12,97 | 27 | 24,90 |
| — 12 | 1,29 | — 2 | 3,10 | + 8 | 6,82 | 18 | 13,89 | 28 | 26,47 |
| — 11 | 1,41 | — 1 | 3,36 | + 9 | 7,34 | 19 | 14,85 | 29 | 28,14 |

Hölzernes Hygrometer von Delacombe **). Wir führen dies neuerdings angegebene Instrument der Vollständigkeit wegen mit auf, ohne ihm jedoch eine physikalische Brauchbarkeit beimessen zu wollen.

Das Hauptstück des Instruments besteht aus einer schmalen hölzernen Platte oder einem Züngelchen, welches durch Vorsteckstiftchen mit einer dünnen messingenen Platte verbunden ist. Die Holzfasern des Züngelchens laufen quer, die Metallplatte ist etwas elastisch. Dies Stück nun ist in dem Augenblicke, in welchem es gemacht wird, gerade; allein es krümmt sich nach der größern oder geringern Feuchtigkeit der Luft gegen die eine oder die andere Seite; bei zunehmender Feuchtigkeit wird es an der Seite der Metallplatte concav, bei zunehmender Trockenheit wird es an eben dieser Seite convex.

Das Stück, welches aus Holz und Messing besteht, ist an dem einen Ende an einer bestimmten Stelle fixirt, während es an dem andern Ende einen Bügel trägt, der mit einem Bogen articulirt; die Saite oder Schnur dieses Bogens rollt sich auf eine walzenförmige Axe und das Ende dieser Axe ist mit einer Nadel versehen, die auf einem graduirten Rande die Grade der Luftfeuchtigkeit anzeigt. Erleidet nun das beschriebene hygrometrische Stück eine Veränderung in seiner Form, so muß sich die Nadel nach der einen oder nach der andern Seite bewegen, und der Raum, den die Nadel auf dem graduirten Rande durchläuft, ist um so größer, je länger das hygrometrische Stück, je kleiner der Durchmesser der walzenförmigen Axe und je länger die Nadel selbst ist.

*) Die Art der Grane ist nicht bezeichnet. Unstreitig jedoch Preußisches Gewicht.

**) Bull. de la soc. d'encour. 1833 Mars. oder Dingler's polytechn. Journ. XLI. 104.

Unter allen Holzarten wendet Delacombe vorzüglich das Holz der Erlen, der Weiden oder der weißen Pappeln zu seinem Hygrometer an. Als feststehende Punkte seines Maßstabes nimmt er die größte Feuchtigkeit und die größte Trockenheit an, die er wie Saussure bestimmt.

Mittelst einer Nußschraube endlich und durch Veränderung der Stellung des Bügels, der sich an dem Bogen befindet, regulirt er sein Instrument so, daß die Nadel zwischen den beiden äußersten Punkten der Feuchtigkeit und Trockenheit den ganzen Umfang des Kreises, der in 100 Grade und in Bruchtheile von Graden getheilt ist, durchläuft.

Das ganze Instrument hat die Form einer Medaille von 5 bis 20 Centimeter im Durchmesser; die Fläche, an welcher sich die Nadel und der graduirte Rand befindet, ist mit einem gewölbten Glase versehen; die andere Hälfte hingegen ist mit einer ausgeschnittenen Kupferplatte geschlossen, jedoch so, daß die Luft freien Zutritt zu dem Innern des Glases hat.

### Mittel zur Bestimmung des Wassergehalts der Atmosphäre, von Brunner *).

Das nachfolgende sinnreiche Verfahren gründet sich darauf, ein gegebenes Volumen atmosphärischer Luft durch eine gewisse Quantität concentrirter Schwefelsäure streichen zu lassen, welche man vor und nach dem Versuche wiegt. Der Verfasser überzeugte sich, daß die Schwefelsäure bei weitem kräftiger hyproskopisch wirkt als Chlorcalcium.

Folgendes ist der Apparat, dessen sich der Verfasser zu diesem Zwecke bediente.

A Fig. 38. ist ein cylindrisches Gefäß von 14 bis 15 Litres Capacität, oben mit einem Halse a, unten mit einem Hahne h versehen und mit Wasser angefüllt. In a wird luftdicht eine rechtwinklich gebogene Glasröhre ab eingesetzt, deren horizontaler Schenkel bc einige Stückchen Chlorcalcium enthält, die durch etwas lose eingesteckte Baumwolle in b und c vor dem Herausfallen geschützt wird. Bei b wird, zur Aufnahme der Schwefelsäure, mittelst einer Cautschuckröhre die Glasröhre ed von 11 Par Zoll Länge und $3\frac{1}{2}$ bis 4 Lin. innerm Durchmesser angefügt, welche nahe an den Enden in f und g nach der einen Seite hin bauchförmige Erweiterungen hat, die dazu bestimmt sind, bei nicht vollkommen horizontaler Lage der Röhre die etwa abfließende Säure aufzunehmen. Die Säure selbst wird in diese Röhre ed auf folgende Weise eingebracht. Man bringt so viel feinen Asbest hinein, als erfoderlich ist, um die Wand der Röhre zu belegen und die der durchstreichenden Luft dargebotene Oberfläche so viel zu vergrößern, als es, ohne ihrem Durchströmen ein zu großes Hinderniß entgegenzusetzen, geschehen darf. Der Asbest wird hierauf mit gewöhnlicher englischer Schwefelsäure so gleichförmig als möglich befeuchtet. Dies geschieht am Besten durch Hineingießen der Säure in die obere Öffnung der beinahe senkrecht gehaltenen Röhre, worauf man dieselbe so lange in dieser Lage liegen läßt, bis

*) Pogg. XX. 274.

die Säure sich nach dem andern Ende hin durch den Asbest verbreitet hat. Sollte diese sich dabei in Klumpen vereinigen, so müssen diese nachher mittelst eines Messingdrahtes zertheilt werden. Funfzig bis sechzig Tropfen Säure werden bei den angegebenen Dimensionen der Röhre hinreichen.

Die Versuchsweise selbst beruht auf Folgendem: Wenn aus dem Gefäße A Wasser durch den Hahn h herausgelassen wird, so wird solches durch ein gleiches Volumen Luft, welche durch die Röhre de strömt, ersetzt werden. Um dieses Volumen genau zu kennen, darf man also nur das abfließende Wasser in einer genau gemessenen und am Halse mit einem Zeichen versehenen Flasche auffassen und bei der Bestimmung des Luftvolumens den Barometer- und Thermometer-Stand, so wie die Spannkraft des den Raum in A erfüllenden Wasserdampfes, gehörig in Rechnung nehmen. Damit dieser letztere keinen Einfluß auf die Gewichtszunahme der Schwefelsäure ausübe, welches ohnehin durch den in entgegengesetzter Richtung gehenden Luftstrom fast gänzlich verhütet wird, ist, wie schon oben angegeben worden, in b c etwas Chlorcalcium angebracht. Daß die Röhre de vor und nach dem Durchströmen der Luft mit guten Stöpseln (am besten aus einem aus Leinölfirniß und Mennig oder Bleiweiß verfertigten Kitte) verschlossen aufs genaueste gewogen werden müsse, ist leicht einzusehen. Noch ist zu bemerken, daß die Geschwindigkeit des Abfließens des Wassers einigermaßen regulirt werden muß. Geschieht nämlich solches gar zu schnell, so könnte der Fall eintreten, daß ein Antheil des mit der Luft durch die Röhre strömenden Dampfes der Absorption entginge, da im entgegengesetzten Falle die Operation unnöthigerweise verlängert würde. Die schickliche Zeit wird man durch einige Versuche bald finden. Bei den angegebenen Dimensionen kann man unter gewöhnlichen Umständen unbesorgt, daß Wasserdampf der Absorption entgehe, 13000 Cubikcentimeter oder Grammen Wasser in 10 Minuten abfließen lassen. Ehe man einige Übung in dem Gebrauche des Instruments hat, ist es anzurathen, zwischen e und b eine zweite mit Asbest und Schwefelsäure versehene Röhre einzuschalten, und sich durch Wägung derselben vor und nach dem Versuche zu überzeugen, daß alles Wasser in d e geblieben sei. Bei Befolgung obiger Angaben wird man solches immer finden. Es ist unzweckmäßig, die Röhre e d mehr als einmal anzuwenden, ohne die Schwefelsäure zu erneuern. Der hierdurch leicht herbeigeführte Irrthum steht nicht im Verhältniß mit der geringen Mühe des Einfüllens. Es bedarf übrigens kaum bemerkt zu werden, daß der Asbest immer wieder dienen kann, nachdem er gut ausgewaschen und getrocknet, oder auch nur durch Erhitzen in einem offenen Platintiegel von der Schwefelsäure befreit worden.

Man könnte befürchten, daß durch das abfließende Wasser die Luft, in welcher man arbeitet, einen höhern Grad von Feuchtigkeit erhalte und hierdurch das Resultat unrichtig werde. Diese Besorgniß ist jedoch leicht zu beseitigen, wenn man, um das Wasser aufzufassen, eine Flasche mit ziemlich engem Halse anwendet und den Hahn in diesen letztern etwas hinunter-

reichen läßt. Wollte man übrigens auf das Genaueste verfahren, so wäre es leicht die Röhre b c zu verlängern, oder die Mündung d durch eine Scheidewand, z. B. das Fenster, hindurchgehen zu lassen.

Denjenigen, welchen die Gelegenheit fehlt, sich ein eigenes Gefäß verfertigen zu lassen, empfiehlt der Verfasser die in Fig. 39. abgebildete Vorrichtung. Das Gefäß A ersetzt eine gewöhnliche Flasche A' von schicklicher Größe. Dieselbe ist mit einem Heber i k versehen, durch welchen der Abfluß geschieht, welcher durch den Hahn l regulirt werden kann. Auch dieser Hahn kann erspart werden, wenn man der Öffnung k die zweckmäßige Dimension giebt. Zu empfehlen ist es, die Röhre m n, welche die Bestimmung a b Fig. 38. hat, ebenfalls bis nahe auf den Boden des Gefäßes reichen zu lassen, wodurch aus leicht begreiflichen Gründen die größte Gleichförmigkeit des Ausflusses nach Art des Mariotte'schen Gefäßes erhalten wird, — eine Einrichtung, welche auch in Figur 38. angebracht werden kann.

Ein Beispiel mag noch den Gebrauch des Instrumentes erläutern. Abgeflossenes Wasser: 12972,5 Grm. Der Versuch geschah bei + 10° C. und 26,8 Barometerstand. Dieses giebt für das Volumen der eingeströmten Luft bei 0° und 28 Zoll Barometerstand und, nach Dalton's Tensionstabelle, auf den Zustand vollkommener Trockenheit reducirt: 11804,2 Cubikcentimeter oder, nach Gay-Lussac's Wägung, 15,33496 Grammen. Die Gewichtszunahme der Schwefelsäure betrug 0,094 Grammen. Mithin beträgt die Menge des in 1000 Gewichtstheilen der untersuchten Luft enthaltenen Wassers 6,09243.

Die Genauigkeit, welche diese Methode gewähren kann, ist durch die Fertigkeit des Operateurs und durch die Vollkommenheit der Wage, die ihm zu Gebote steht, bedingt. Zwei unmittelbar nach einander mit dem beschriebenen Apparate angestellte Versuche gaben dem Verfasser nach einiger Übung jederzeit auf 1 Milligramm, also ungefähr 1 Procent des Wassergehaltes, übereinstimmende Resultate.

Zum Schlusse führt der Verfasser noch folgenden Versuch an, den er anstellte, um eine Vergleichung der oben beschriebenen Methode mit den aus den vorhandenen Tabellen mittelst Rechnung gezogenen Resultaten zu erhalten.

12972,5 Cubikcentimeter Luft von $9\frac{1}{2}$° C. ließ er (bei 26",4 Barometerstand) durch eine mit angefeuchteter Baumwolle gefüllte Glasröhre, und aus dieser in die auf die beschriebene Weise vorgerichtete Röhre mit Schwefelsäure strömen. Die Gewichtszunahme dieser letztern betrug 0,121 Grammen.

Nach Peclet *) enthält diese Menge von Luft bei jener Temperatur mit Wasserdampf gesättigt: 12972,5 × 0,00000946 = 0,122 Grammen Wasser.

*) Traité de Physique. 2. édit. I. p. 494.

# XIII. Specifisches Gewicht.

---

## Bestimmungsmethoden des specifischen Gewichts, Aräometer.

Über eine neue Art, das specifische Gewicht der Körper zu bestimmen, von Levy *). Der Verfasser empfiehlt das nachfolgende Verfahren (was allerdings etwas complicirter ist als das gewöhnliche) namentlich deshalb, weil es gestattet, die beiden Wägungen (in Luft und Wasser), aus welchen man das specifische Gewicht herleitet, beliebig oft zu wiederholen, ohne den Körper jedesmal trocknen zu müssen, wenn man ihn, nachdem er im Wasser gewogen worden, aufs Neue in Luft wiegen will.

An das eine Ende eines Wagebalkens sei anstatt der Wagschaale ein kleines Gefäß A aufgehangen, welches mit Wasser bis zu einer gewissen Höhe gefüllt ist. Der Boden des Gefäßes sei nur in einer sehr kleinen Entfernung von der Tafel, auf welcher die Wage befindlich ist, entfernt, und das kleine Gefäß lasse sich von dem Ende des Wagebalkens, an welchem es sich aufgehangen findet, leicht losmachen. An demselben Ende des Wagebalkens ist ein ganz feiner Draht B, z. B. von Platin, befestigt, der sich auf der andern Seite in einen kleinen Haken endigt, welcher bis zu kleiner Tiefe in das Wasser des Gefäßes A taucht, so daß, wenn man das Gefäß abnimmt und auf die Tafel **) (unter der Stelle seiner Aufhängung) niedersetzt, ein kleiner Theil des (am Wagebalken befestigt bleibenden) Drahtes noch in das Wasser getaucht bleibt. Eingetaucht in das Wasser des Gefäßes A, doch außer Berührung mit dessen Seitenwänden oder Boden, findet sich ein kleineres Gefäß C, welches an dem Haken des Drahtes B aufgehangen ist.

Gesetzt nun, P sei das Gewicht, welches, in die Schale auf der andern Seite der Wage gelegt, dem Gefäße A, wenn es aufgehangen ist, nebst dem Wasser und dem Gefäße C, welche darin enthalten sind und dem Drahte B das Gleichgewicht hält; es sei ferner p das Gewicht, welches man an die Stelle P setzen muß, um dem Draht B und dem Gewicht des in das Wasser getauchten Gefäßes C das Gleichgewicht zu halten, wenn man das Gefäß A vom Ende des Wagebalkens losgemacht hat ***).

Will man nun das specifische Gewicht eines beliebigen Körpers D bestimmen, so lege man ihn in das Gefäß C; man hänge das Gefäß A auf, und das, was man zu P auf der andern Seite hinzuzufügen hat, wird

*) Quetelet Corresp. VI. 268.

**) Die angegebenermaßen von dem Boden des Gefäßes A auch bei dessen Aufhängung nur wenig entfernt ist.

***) Wobei jedoch das Gefäß C immer noch in das Gefäß A taucht, das nämlich unterhalb der Stelle seiner Aufhängung auf die Tafel niedergelassen wird.

offenbar das Gewicht von D in der Luft sein; darauf mache man das Gefäß A los, nehme das Gewicht P aus der Wagschaale weg und ersetze es durch p. Das was man jetzt noch hinzuzufügen hat, um das Gleichgewicht zu bewirken, wird das Gewicht von D im Wasser sein. Nach diesen beiden Gewichten wird man das specifische Gewicht nach bekannter Weise bestimmen.

Zweckmäßige Einrichtung des Leslie'schen Instruments zur Bestimmung des specifischen Gewichts gepulverter Körper *). Leslie hat ein Instrument zu dem vorstehenden Behufe angegeben, welches sich u. a. in Baumg. und Ett. Zeitschr. I. 318 abgebildet findet. Diese Abbildung kann jedoch nur dienen, das Wesentliche, worauf es bei dem Verfahren ankommt, darzustellen, nicht aber als Modell, nach welchem etwa ein solcher Apparat einzurichten wäre. Baumgartner dagegen beschreibt ein solches in der vollkommenen Gestalt, wie es vom Mechanikus Ekling in Wien für das dasige Museum ausgeführt worden ist**). Beschreibung und Abbildung scheinen uns jedoch zu umfangsreich, als daß wir hinsichtlich derselben nicht vorziehen sollten, auf die Originalabhandlung zu verweisen.

Verbesserter Heber zur Bestimmung des specifischen Gewichts von Flüssigkeiten, von Meikle ***). Meikle hat schon im Jahre 1826 einen vierarmigen Heber zur Bestimmung des specifischen Gewichts tropfbarer Flüssigkeiten angegeben (vgl. Baumg. Zeitschr. II. 76). Neuerdings hat er einen zweiarmigen Heber zu demselben Zwecke empfohlen. Man kennt seit langem in Deutschland den Gebrauch eines Hebers zu diesem Zwecke, der an der Stelle, wo seine zwei Arme mit einander verbunden sind, mit einer Art Saugpumpe in Verbindung steht, so daß, wenn man jeden der zwei Arme in eine Flüssigkeit taucht und dann den Kolben dieser Pumpe in die Höhe zieht, die Flüssigkeiten nach Maßgabe ihrer Dichte steigen und daher die Längen der gehobenen Säulen im verkehrten Verhältnisse ihrer Dichten oder specifischen Gewichte stehen. Nach demselben Grundsatze ist Meikle's Heber eingerichtet, jedoch hat er darin einen Vorzug, der ihn zu schnellen Bestimmungen sehr empfiehlt, daß die Pumpe ganz weggelassen worden ist, und auch der Einfluß der Capillarität aufgehoben wird.

Meikle räth, den zweiarmigen Heber am oberen Theile mit einer kleinen Öffnung zu versehen, die man mit dem Finger gut und leicht verschließen kann. Taucht man daher z. B. einen Schenkel bis auf eine gewisse Tiefe in Wasser, den andern in jene Flüssigkeit, deren specifisches Gewicht man mit dem des Wassers vergleichen will, so kann die Luft aus

*) Baumg. Zeitschr. V. 323.

**) Der Preis des Instruments ist 60 Gulden Conventionsmünze.

***) Philos. Mag. Oct. 1828. oder Baumg. Zeitschr. V. 328.

beiden Schenkeln entweichen und jede der Flüssigkeiten tritt in ihrem Schenkel mit der außerhalb desselben befindlichen Masse ins hydrostatische Gleichgewicht. Schließt man nun die Öffnung mit dem Finger und hebt den Apparat aus den Flüssigkeiten; so bleibt in jedem Schenkel eine flüssige Säule schweben, und die Längen der zwei Säulen verhalten sich verkehrt wie ihre specifischen Gewichte. Ist demnach die Höhe der Wassersäule A, die der andern Flüssigket F, so bezeichnet $\frac{F}{A}$ das specifische Gewicht der letzteren.

Um den Einfluß der Capillarität aufzuheben, räth Meikle, den Versuch zwei Mal anzustellen, aber mit flüssigen Säulen von verschiedener Länge. Bedeuten beim zweiten Versuche f und a dasselbe, was beim ersten Versuche F und A bezeichneten, und ist der Einfluß der Capillarität im einen Schenkel x und im anderen y, endlich s das specifische Gewicht der Flüssigkeit; so hat man

$$s = \frac{F-x}{A-x},\; s = \frac{f-x}{a-x}, \text{ und daher auch } s = \frac{F-f}{A-a}.$$

Verschließt man gleich beim Einsenken der Heberschenkel in die betreffenden Flüssigkeiten die Öffnung mit dem Finger, so bleiben beide Flüssigkeiten unter dem Niveau ihrer Masse im weitern Gefäße zurück, und falls sie durchsichtig sind, so kann man die Größe der Depressionen messen, die ohne Einwirkung der Capillarität auch im verkehrten Verhältnisse der specifischen Gewichte der Flüssigkeiten stehen werden. Man kann zur Vermeidung des Capillaritätseinflusses auch hier zwei Versuche anstellen und wie oben die Rechnung führen; nur wird man für den Fall, wo ein Versuch bei einer Depression, der andere bei einer Elevation angestellt wird, die Formel $s = \frac{F+f}{A+a}$ zur Bestimmung des specifischen Gewichtes bekommen.

**Beschreibung verschiedener Aräometer.** Eine zusammenstellende Beschreibung nebst Abbildung der verschiedenen bekannten Aräometer findet sich im Laboratorium (Weimar) Heft XV. Taf. LVIII. LIX.

**Vergleichung der Grade verschiedener Aräometer mit dem zugehörigen specifischen Gewichte, von Marozeau*).** Die nachstehenden Tabellen für das Beaumé'sche Aräometer, Centesimalalkoholometer und Cartier'sche Aräometer sind nach den nachher folgenden Formeln berechnet und mittelst Controlle durch directe Erfahrung richtig befunden worden. Sie gelten für die obenstehenden Temperaturen, für welche auch das specifische Gewicht des Wassers = 1 gesetzt ist.

*) Journ. de Pharmac. 1830 Août. p. 482.

Beaumé'sches Aräometer, bei 10° R.

| Aräometer-grade. | Spec. Gew. | Differenz. | Aräometer-grade. | Spec. Gew. | Differenz. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1,008 | 7 | 39 | 1,371 | 13 |
| 2 | 1,015 | 7 | 40 | 1,384 | 13 |
| 3 | 1,022 | 7 | 41 | 1,397 | 13 |
| 4 | 1,029 | 7 | 42 | 1,410 | 14 |
| 5 | 1,036 | 7 | 43 | 1,424 | 14 |
| 6 | 1,043 | 8 | 44 | 1,438 | 15 |
| 7 | 1,051 | 8 | 45 | 1,453 | 15 |
| 8 | 1,059 | 8 | 46 | 1,468 | 15 |
| 9 | 1,067 | 8 | 47 | 1,483 | 15 |
| 10 | 1,075 | 8 | 48 | 1,498 | 16 |
| 11 | 1,083 | 8 | 49 | 1,514 | 16 |
| 12 | 1,091 | 8 | 50 | 1,530 | 16 |
| 13 | 1,099 | 8 | 51 | 1,546 | 17 |
| 14 | 1,107 | 9 | 52 | 1,563 | 17 |
| 15 | 1,116 | 9 | 53 | 1,580 | 18 |
| 16 | 1,125 | 9 | 54 | 1,598 | 18 |
| 17 | 1,134 | 9 | 55 | 1,616 | 18 |
| 18 | 1,143 | 9 | 56 | 1,634 | 19 |
| 19 | 1,152 | 9 | 57 | 1,653 | 19 |
| 20 | 1,161 | 9 | 58 | 1,672 | 19 |
| 21 | 1,170 | 10 | 59 | 1,691 | 20 |
| 22 | 1,180 | 10 | 60 | 1,711 | 21 |
| 23 | 1,190 | 10 | 61 | 1,732 | 21 |
| 24 | 1,200 | 10 | 62 | 1,753 | 22 |
| 25 | 1,210 | 10 | 63 | 1,775 | 22 |
| 26 | 1,220 | 10 | 64 | 1,797 | 22 |
| 27 | 1,230 | 11 | 65 | 1,819 | 23 |
| 28 | 1,241 | 11 | 66 | 1,842 | 24 |
| 29 | 1,252 | 11 | 67 | 1,866 | 25 |
| 30 | 1,263 | 11 | 68 | 1,891 | 25 |
| 31 | 1,274 | 11 | 69 | 1,916 | 26 |
| 32 | 1,285 | 11 | 70 | 1,942 | 26 |
| 33 | 1,296 | 12 | 71 | 1,968 | 27 |
| 34 | 1,308 | 12 | 72 | 1,995 | 28 |
| 35 | 1,320 | 12 | 73 | 2,023 | 29 |
| 36 | 1,332 | 13 | 74 | 2,052 | 29 |
| 37 | 1,345 | 13 | 75 | 2,081 | |
| 38 | 1,358 | 13 | | | |

Digitized by Google

Centesimalalkoholometer, bei 12° R.

| Grade. | Spec. Gew. | Differenz. | Grade. | Spec. Gew. | Differenz. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1,000 | 1 | 50 | 0,936 | 2 |
| 1 | 0,999 | 2 | 51 | 0,934 | 2 |
| 2 | 0,997 | 1 | 52 | 0,932 | 2 |
| 3 | 0,996 | 2 | 53 | 0,930 | 2 |
| 4 | 0,994 | 1 | 54 | 0,928 | 2 |
| 5 | 0,993 | 1 | 55 | 0,926 | 2 |
| 6 | 0,992 | 2 | 56 | 0,924 | 2 |
| 7 | 0,990 | 1 | 57 | 0,922 | 2 |
| 8 | 0,989 | 1 | 58 | 0,920 | 2 |
| 9 | 0,988 | 1 | 59 | 0,918 | 3 |
| 10 | 0,987 | 1 | 60 | 0,915 | 2 |
| 11 | 0,986 | 2 | 61 | 0,913 | 2 |
| 12 | 0,984 | 1 | 62 | 0,911 | 2 |
| 13 | 0,983 | 1 | 63 | 0,909 | 3 |
| 14 | 0,982 | 1 | 64 | 0,906 | 2 |
| 15 | 0,981 | 1 | 65 | 0,904 | 2 |
| 16 | 0,980 | 1 | 66 | 0,902 | 3 |
| 17 | 0,979 | 1 | 67 | 0,899 | 3 |
| 18 | 0,978 | 1 | 68 | 0,896 | 3 |
| 19 | 0,977 | 1 | 69 | 0,893 | 2 |
| 20 | 0,976 | 1 | 70 | 0,891 | 3 |
| 21 | 0,975 | 1 | 71 | 0,888 | 2 |
| 22 | 0,974 | 1 | 72 | 0,886 | 2 |
| 23 | 0,973 | 1 | 73 | 0,884 | 3 |
| 24 | 0,972 | 1 | 74 | 0,881 | 2 |
| 25 | 0,971 | 1 | 75 | 0,879 | 3 |
| 26 | 0,970 | 1 | 76 | 0,876 | 2 |
| 27 | 0,969 | 1 | 77 | 0,874 | 3 |
| 28 | 0,968 | 1 | 78 | 0,871 | 3 |
| 29 | 0,967 | 1 | 79 | 0,868 | 3 |
| 30 | 0,966 | 1 | 80 | 0,865 | 2 |
| 31 | 0,965 | 1 | 81 | 0,863 | 3 |
| 32 | 0,964 | 1 | 82 | 0,860 | 3 |
| 33 | 0,963 | 1 | 83 | 0,857 | 3 |
| 34 | 0,962 | 1 | 84 | 0,854 | 3 |
| 35 | 0,960 | 1 | 85 | 0,851 | 3 |
| 36 | 0,959 | 2 | 86 | 0,848 | 3 |
| 37 | 0,957 | 1 | 87 | 0,845 | 3 |
| 38 | 0,956 | 2 | 88 | 0,842 | 4 |
| 39 | 0,954 | 1 | 89 | 0,838 | 3 |
| 40 | 0,953 | 2 | 90 | 0,835 | 3 |
| 41 | 0,951 | 2 | 91 | 0,832 | 3 |
| 42 | 0,949 | 1 | 92 | 0,829 | 3 |
| 43 | 0,948 | 2 | 93 | 0,826 | 4 |
| 44 | 0,946 | 1 | 94 | 0,822 | 4 |
| 45 | 0,945 | 2 | 95 | 0,818 | 4 |
| 46 | 0,943 | 2 | 96 | 0,814 | 4 |
| 47 | 0,941 | 1 | 97 | 0,810 | 5 |
| 48 | 0,940 | 2 | 98 | 0,805 | 5 |
| 49 | 0,938 | 2 | 99 | 0,800 | 5 |
| | | | 100 | 0,795 | |

Digitized by Google

## Cartier'sches Aräometer, bei 10° R.

| Aräometergrade. | Spec. Gew. | Differenz. | Aräometergrade. | Spec. Gew. | Differenz. |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 1,000 | 8 | 28 | 0,879 | 6 |
| 11 | 0,992 | 7 | 29 | 0,872 | 6 |
| 12 | 0,985 | 8 | 30 | 0,867 | 6 |
| 13 | 0,977 | 7 | 31 | 0,862 | 5 |
| 14 | 0,970 | 7 | 32 | 0,856 | 6 |
| 15 | 0,963 | 7 | 33 | 0,851 | 6 |
| 16 | 0,956 | 7 | 34 | 0,845 | 5 |
| 17 | 0,949 | 7 | 35 | 0,840 | 5 |
| 18 | 0,942 | 7 | 36 | 0,835 | 5 |
| 19 | 0,935 | 6 | 37 | 0,830 | 5 |
| 20 | 0,929 | 7 | 38 | 0,825 | 6 |
| 21 | 0,922 | 6 | 39 | 0,819 | 5 |
| 22 | 0,916 | 7 | 40 | 0,814 | 5 |
| 23 | 0,909 | 6 | 41 | 0,809 | 5 |
| 24 | 0,903 | 6 | 42 | 0,804 | 5 |
| 25 | 0,897 | 6 | 43 | 0,799 | 5 |
| 26 | 0,891 | 6 | 44 | 0,794 | |
| 27 | 0,885 | 6 | | | |

Die Formel, welche zur Berechnung der Tabellen für das Beaumé'sche und Cartier'sche Aräometer gedient hat, ist folgende:

$$y = \frac{dd'\,(n' - n)}{n'd' - nd - x\,(d' - d)}$$

hierin bedeutet y das specifische Gewicht, x die Grade des Instruments; die übrigen Buchstaben haben folgende Bedeutung:

Für das Beaumé'sche Aräometer: $n = 0$; $n' = 66$, $d = 1$, $d' = 1{,}842$ *).

Für das Cartiersche Aräometer: $n = 10$, $n' = 35{,}77$, $d = 1$, $d' = 0{,}836$ **).

Hiernach erhält man für das Beaumé'sche Aräometer

*) Nach den Datis, daß das specifische Gewicht bei 10° R. = 1 für 0° der Scale; = 1,84 für 66° der Scale ist. Letztere Zahl ist als das specifische Gewicht der concentrirtesten Schwefelsäure nach Thénard's Bestimmung angenommen.

**) Nach den Datis, daß, zufolge Gay-Lussac's Angabe das specifische Gewicht des destillirten Wassers bei 10° R. dem 10 Grade des Cartier'schen Aräometers entspricht, und daß ein sorgfältig angestellter Versuch bei derselben Temperatur für ein specifisches Gewicht 0,830 am Cartier'schen Aräometer 39,25 Grade gab.

$$y = \frac{121,572}{121,572 - x + 0,842}$$

und für das Cartier'sche

$$y = \frac{21544}{19904 + 164\,x}$$

Was die Tabelle für das Centesimalalkoholometer anlangt, so ist sie aus der Relation abgeleitet, die Gay-Lussac zwischen seiner Scala und der des Cartier'schen Aräometers gegeben hat und gleich den andern Tabellen durch directe Versuche bewährt worden.

Über Bestimmung des specifischen Gewichts fester Körper, von Osann *). Osann hat durch Versuche an Platinkörnern, Eis- und Glas-Stücken folgendes Resultat gefunden, welches bei Bestimmung der specifischen Gewichte fester Körper Berücksichtigung verdient:

Wenn man das specifische Gewicht fester zerstückelter Körper durch Abwägen derselben in Wasser bestimmt, so hat das Verhältniß der absoluten Menge des ins Gewicht genommenen Körpers zu dem Volumen des mit Wasser gefüllten Gefäßes, in dem er gewogen wird, einen Einfluß auf die Größe des Resultats.

Osann leitet diese Eigenschaft von der Capillarität des Wassers zu dem gewogenen Körper ab, ohne jedoch eine nähere Beziehung zu den Gesetzen der Capillarität nachzuweisen, daher der angegebene Umstand bis jetzt noch als unerklärt angesehen werden muß.

An der erfahrungsmäßigen Richtigkeit desselben scheinen übrigens Osann's Versuche keinen Zweifel übrig zu lassen; hinsichtlich des nähern Verhaltens jedoch in diesem Bezuge zeigen die Versuche Osann's keine Übereinstimmung für die einzelnen Körper, sei es, daß sie sich wirklich verschieden in dieser Hinsicht verhalten, oder daß Osann's Versuche, die er mit Glasstücken am ausführlichsten angestellt hat, bei den andern Materien nicht genug abgeändert oder ausgedehnt wurden; direct nämlich geht aus den von Osann gegebenen Datis folgendes hervor **):

Bei Glasstücken wurde, sowohl wenn man eine zu große, als wenn man eine zu kleine Menge derselben anwandte, ein geringeres Resultat für das specifische Gewicht erhalten, als bei einem gewissen mittlern Verhältnisse des Glases zum Gefäße. Bei Eisstücken zeigt sich das umgekehrte Verhältniß, indem hier das Minimum des specifischen Gewichts auf ein gewisses mittleres Verhältniß des Gewichts Eis fällt, und bei den Versuchen mit Platinkörnern sieht man, so weit sie ausgedehnt wurden, das specifische Gewicht continuirlich abnehmen, während das absolute Gewicht der Platinkörner zunimmt, so lange das Gefäß dasselbe bleibt.

*) Kastn. N. Arch. I. S. 58. 95.

**) Osann erinnert bei dieser Gelegenheit an eine, mit dem Obigen im Zusammenhange stehende, frühere Erfahrung von Hassenfratz in Gilb. I. 396.

Anwendung eines kleinern Gefäßes hatte denselben Erfolg, als Vergrößerung des absoluten Gewichts, d. h. das specifische Gewicht nahm bei den Platinkörnern dadurch ab. Noch ferner zeigte sich bei den Versuchen mit Glasstücken, daß auch die Zeit, in der dieselben mit dem Wasser in Berührung gestanden haben, auf das Resultat influirt, indem bei den, in diesem Bezuge allerdings nicht zahlreich angestellten, Versuchen, wo das Verhältniß des Glasgewichts zum Gefäße unter dem mittleren lag, das specifische Gewicht nach 5- oder 8tägiger Berührung kleiner gefunden wurde, als nach bloß 24stündiger; größer dagegen, wenn jenes Verhältniß über dem mittlern lag. Jedenfalls waren die Unterschiede, die von dem absoluten Gewicht des geprüften Körpers abhingen, geringer (bei Glas erst in der dritten Decimale anfangend), wenn der Körper erst nach längerer Berührung mit der Fl. gewogen wurde, als wenn er nach kurzer Berührung damit gewogen ward. — (Die angeführten Resultate ergaben sich in lufthaltigem, wie in luftfreiem Wasser.)

Osann empfiehlt, als Folgerung aus den angegebenen Erfahrungen, um das specifische Gewicht der festen Körper möglichst frei von den Irrthümern zu erhalten, die durch die angegebenen Umstände veranlaßt werden können, den Körper, nachdem er mit Wasser gekocht worden, damit noch 8 Tage lang in Berührung stehen zu lassen, bevor man die Bestimmung des specifischen Gewichts vornimmt, und zwar so viel vom Körper anzuwenden, daß das Volumen desselben der Hälfte des räumlichen Inhalts des mit Wasser gefüllten Glases, worin er gewogen wird, entspricht.

Doch ist diese Regel bloß nach den Versuchen mit den Glasstücken abgeleitet *), für die Osann nach derselben das Maximum des specifischen Gewichts erhielt.

Belege zu Vorstehendem. Aus den weitläuftig, mit allen Correctionen (wegen Thermometer-, Barometer-Stand) angeführten, Belegen der Originalabhandlung, begnügen wir uns, folgende kürzlich auszuheben **):

Platinkörner.

| Absolutes Gewicht. | Specifisches Gewicht. |
|---|---|
| 70,0458 Gram. | 17,3716 |
| 60,0260 — | 17,3741 |
| 50,0220 — | 17,3957 |
| 40,1320 — | 17,4161 |
| 30,1490 — | 17,4645 |
| 20,0850 — | 17,4736 |

*) Da andere Körper sich, wenn man wenigstens den directen Datis von Osann's Versuchen trauen darf, anders als Glas verhalten, so würde diese Regel keine allgemeine Gültigkeit haben können.

**) Sie wurden, außer wo das Gegentheil bemerkt ist, in luftfreiem destillirten Wasser angestellt.

Daß hierbei nicht sowohl die absolute Menge des Platins an sich, als sein Verhältniß zur Wassermasse in Betracht kam, schließt Osann aus folgendem Versuche:

Er wog 10,27 Gram. in einem Gläschen, dessen Capacität sich zu der des vorigen ungefähr wie 17 zu 43 verhielt (die absoluten Capacitäten sind nicht angegeben). Unter diesen Umständen ergab sich das specifische Gewicht des Platins zu 17,2605, also bedeutend geringer, als nach der Reihenfolge, welche die obigen Resultate gegeben haben, zu erwarten war, so daß also eine verkleinerte Capacität des Gefäßes denselben Einfluß äußerte, als eine vergrößerte Menge des Platins.

Eis, von Luftblasen frei, bei 0° R.

| Absolutes Gewicht. | | Specifisches Gewicht. |
|---|---|---|
| 9,235 | Gram. | 0,9321 |
| 11,150 | — | 0,9352 |
| 12,480 | — | 0,9243 |
| 12,547 | — | 0,9308 |
| 14,020 | — | 0,9198 |
| 15,120 | — | 0,9252 |
| 15,900 | — | 0,9232 |
| 16,670 | — | 0,9239 |
| 20,600 | — | 0,9270 |
| 20,625 | — | 0,9268 |

Glas.

| In lufthaltigem Wasser. | | | In luftfreiem Wasser. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Absolutes Gew. | | Specifisches Gew. | Absolutes Gew. | | Specifisches Gew. |
| 1,18 | Gram. | 2,3165 | 0,1015 | Gram. | 2,3021 |
| 4,845 | — | 2,4560 | 0,1145 | — | 2,4335 |
| 10,416 | — | 2,5306 | 0,2634 | — | 2,5019 |
| 17,729 | — | 2,5002 | 0,4425 | — | 2,4997 |
| 32,77 | — | 2,5025 | 1,0425 | — | 2,5375 |
| 42,933 | — | 2,5040 | 1,5612 | — | 2,4934 |
| 53,158 | — | 2,5044 | 2,0802 | — | 2,4976 |
| 63,163 | — | 2,5010 | 3,1075 | — | 2,4821 |
| 73,178 | — | 2,5018 | 3,5415 | — | 2,4680 |
| 95,005 | — | 2,4953 | 4,0369 | — | 2,4969 |
| 115,005 | — | 2,4951 | | | |

Zur Vergleichung des specifischen Gewichts, wie es sich nach 24stündiger und wie es sich nach mehrtägiger Berührung des Glases mit dem Wasser, im Mittel mehrerer Versuche Osann's, verhielt, dient folgende Tabelle:

| Absolutes Gew. | | Specifisches Gew., bestimmt nach 24 Stunden. | Specifisches Gew., bestimmt nach mehreren Tagen. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 25,1281 | Gram. | 2,4916 | 2,5051 | nach | 5 | Tagen. |
| 99,6889 | — | 2,5116 | 2,5010 | — | 8 | — |
| 211,5685 | — | 2,5068 | 2,5093 | — | 8 | — |

## Specifisches Gewicht verschiedener Körper*).

Über die Verschiedenheit im specifischen Gewichte derselben Mineralspecies**). Beudant, veranlaßt durch die große Differenz in den Angaben über das specifische Gewicht verschiedener, in der Natur vorkommender, Salze, hat diesen Gegenstand einer ausführlichen Untersuchung unterworfen, und namentlich mit verschiedenen Varietäten von kohlensaurem Kalk, Arragonit, Malachit, kohlensaurem Blei, schwefelsaurem Strontian, Schwefelblei, Quarz seine Versuche angestellt. Er gelangte hierbei zu folgenden Resultaten:

1) Die verschiedenen Varietäten derselben Mineralspecies zeigen so bedeutende Abweichungen im specifischen Gewichte, daß man das specifische Gewicht nicht als specifisch unterscheidendes Merkmal brauchen kann.

2) Die Veränderungen des specifischen Gewichts stehen in Bezug zur Aggregationsform der Substanzen; und dasselbe fällt um so höher aus, je mehr sich die Substanz einer regelmäßigen Krystallisation nähert.

3) In allen Substanzen sind es immer die kleinen Krystalle, welche das größte specifische Gewicht besitzen, woraus folgt, daß ihre Masse die größte Homogeneität besitzt, ein Umstand, der sich damit in Beziehung setzen läßt, daß, wie bekannt, die kleinen Krystalle immer die meiste Nettigkeit der Formen zeigen.

4) Alle großen Krystalle besitzen ein geringeres specifisches Gewicht, als die kleinen, und manchmal kann der Unterschied sehr beträchtlich sein. Es folgt hieraus nothwendig, daß die großen Krystalle in ihrem Innern mehr oder weniger beträchtliche leere Räume einschließen, und daß mithin die Gruppirungen kleiner Krystalle, durch die im Allgemeinen die Krystalle von großem Volumen zu Stande kommen, nicht die ihnen zugeschriebene innere Regelmäßigkeit besitzen, ein Umstand, mit welchem die Beobachtungen über die Varietäten der optischen Erscheinungen in den großen Krystallen übereinstimmen.

5) Die Varietäten von blätteriger, faseriger u. s. w. Structur sind im Allgemeinen die, welche das kleinste specifische Gewicht zeigen. Bemerkenswerth aber ist, daß, wenn man bei jeder Substanz für sich die Differenz zwischen dem specifischen Gewicht der blätterigen, faserigen u. s. w. Varietäten und dem der kleinen Krystalle nimmt, und dann alle Substanzen in dieser Hinsicht mit einander vergleicht, so findet sich, daß die Änderungen bei allen Substanzen merklich die nämlichen sind, wie aus folgender Tabelle hervorgeht.

*) Von der Abhängigkeit der Dichtigkeiten von der Temperatur wird unter der Wärmelehre die Rede sein.

**) Ann. de Ch. et de Phys. XXXVIII. 398.

**Tabelle über die Differenz im specifischen Gewicht der kleinen Krystalle und der Varietäten.**

| | Blätterige. | Faserige, mit parallelen Fasern. | mit divergirenden Fasern. | mit verflochtenen Fasern. |
|---|---|---|---|---|
| Kohlensaurer Kalk | 0,0165 | 0,0178 | 0,0193 | 0,0297 |
| | 0,0164 | | | |
| | 0,0165 | | | |
| | 0,0173 | | | |
| | 0,0176 | | | |
| Arragonit . . . . | . . | 0,0170 | . . | 0,0298 |
| | | 0,0180 | . . | 0,0308 |
| Malachit . . . . . | | | 0,0173 | |
| Kohlensaures Blei . | . . | 0,0174 | 0,0185 | |
| | | | 0,0191 | |
| Schwefelsaurer Kalk . | 0,0166 | . . | . . | 0,0272 *) |
| | 0,0170 | . . | . . | 0,0398 *) |
| Schwefelsaur. Strontian | . . | . . | 0,0183 | 0,0296 |
| Schwefelblei . . . . | 0,0187 | . . | 0,0195 | |
| | 0,0190 | | | |
| Quarz . . . . | . . | 0,0176 | 0,0182 | |
| | | 0,0183 | 0,0187 | |
| Mittel . . | 0,0173 | 0,0177 | 0,0186 | 0,0312 |

6) Bei den nämlichen Varietäten, den blätterigen, faserigen u. s. w. ändert sich das specifische Gewicht nach der Dicke der Blätter oder Fasern, indem, wenn diese sehr fein werden, das specifische Gewicht zunimmt und sich mehr oder weniger dem nähert, welches man bei den kleinen Krystallen beobachtet, wie dies namentlich bei der blätterig-compacten, fibrös-compacten u. s. w. Varietät erhellt. Die vorige Vergleichung kann daher nur für den Fall gültig sein, wo die Dicke der Blätter und Fasern gleich ist.

7) Die Änderungen, welche man im specifischen Gewicht der Krystalle beobachtet, sind unregelmäßig, und es findet keine Vergleichung von einer Substanz zur andern damit Statt, wie bei den vorgenannten Varietäten.

8) Die schwächsten specifischen Gewichte scheinen bei den durch Epigenie entstandenen Varietäten der verschiedenen Substanzen Statt zu haben. Man bemerkt dies bei dem Malachit, der entweder von vollständiger Zer-

*) Die Fibern parallel und bloß gedreht (contournées).

setzung des blauen kohlensauren Kupfers oder des Kupferoxyduls herrührt, und beim Schwefelblei, welches durch Zersetzung des phosphorsauren und kohlensauren Blei's entstanden ist.

9) Alle Varietäten einer und der nämlichen Substanz zeigen dasselbe specifische Gewicht in gepulvertem Zustande.

Hiernach setzt Beudant das specifische Gewicht der verschiedenen von ihm untersuchten Mineralien nach einem Mittel mehrerer Beobachtungen folgendermaßen fest:

| | |
|---|---|
| Rhomboedrischer Kalkspath . . . | 2,7231 |
| Arragonit . . . . . . . . . . | 2,9466 |
| Malachit . . . . . . . . . . | 3,5904 |
| Kohlensaures Blei . . . . . . | 6,7290 |
| Gyps . . . . . . . . . . . | 2,3316 |
| Schwefelsaurer Strontian . . . . | 2,9592 |
| Schwefelblei . . . . . . . . | 7,7592 |
| Quarz . . . . . . . . . . . | 2,6540 |

**Bestimmung des specifischen Gewichts mehrerer Mineralien.** Breithaupt hat das specifische Gewicht einer ziemlichen Anzahl von Mineralien bestimmt, worüber wir auf das Original verweisen in Schweigg. J. LX. 382. LXII. 155. 232.

**Specifisches Gewicht verschiedener chemischer Verbindungen von Boullay dem Sohn** *). Boullay wurde bei einer Untersuchung über die Veränderungen, welche das Volumen zweier Bestandtheile bei ihrer chemischen Verbindung erfährt, veranlaßt, das specifische Gewicht mancher Körper genauer, als bisher geschehen, zu prüfen. Er erhielt hierbei folgende Resultate:

*) Journ. de Pharmac. 1830 Juillet. p. 398.

| Name der Substanzen. | Formel der Substanz. | Spec. Gewicht. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| Antimonoxyd . . . . . | $\dddot{\overline{\text{Sb}}}$ | 5,773 | In langen Nadeln. |
| Antimonige Säure . . . | $\ddddot{\overline{\text{Sb}}}$ | 6,525 | |
| Silberoxyd . . . . . . | $\dot{\text{Ag}}$ | 7,250 | Aus salpeters. Silber durch reines überschüssiges Kali. |
| Chlorsilber . . . . . | $\text{Ag}\ \overline{\text{Cl}}$ | 5,548 | |
| Jodsilber . . . . . . | $\text{Ag}\ \overline{\text{I}}$ | 5,614 | |
| Quecksilberoxyd . . . . | $\dot{\overline{\text{Hg}}}$ | 11,000 | Durch Calcinat. des salpeters. Salzes. |
| Quecksilberchlorid . . . | $\text{Hg}\ \overline{\text{Cl}}$ | 5,420 | |
| Quecksilberchlorür . . . | $\text{Hg Cl}$ | 7,140 | |
| Quecksilberjodid . . . . | $\text{Hg}\ \overline{\text{I}}$ | 6,320 | |
| Quecksilberjodür . . . . | $\text{Hg I}$ | 7,750 | |
| Schwefelquecksilber . . . | $\text{Hg S}$ | 8,124 | |
| Kupferoxydul . . . . . | $\dot{\overline{\text{Cu}}}$ | 5,300 | Natürliche Krystalle. |
| Kupferoxyd . . . . . | $\dot{\text{Cu}}$ | 6,130 | Durch Calcinat. des salpeters. Salzes. |
| Wismuthoxyd . . . . . | $\dddot{\overline{\text{Bi}}}$ | 8,968 | Desgleichen. |
| Zinnoxyd . . . . . . | $\ddot{\text{Sn}}$ | 6,900 | |
| Schwefelzinn im Minimum | $\text{Sn S}$ | 5,267 | |
| Schwefelzinn im Maximum | $\text{Sn S}^2$ | 4,415 | |
| Bleioxyd . . . . . . | $\dot{\text{Pb}}$ | 9,500 | Geschmolzen. |
| Braunes Bleisuperoxyd . | $\ddot{\text{Pb}}$ | 9,190 | |
| Jodblei . . . . . . | $\text{Pb}\ \overline{\text{I}}$ | 6,110 | |
| Zinkoxyd . . . . . . | $\dot{\text{Zi}}$ | 5,600 | |
| Eisenoxyd . . . . . | $\dddot{\overline{\text{Fe}}}$ | 5,225 | |
| Eisenoxydoxydul . . . | $\dot{\text{Fe}} + 2\dddot{\overline{\text{Fe}}}$ | 5,400 | Durch Wasserdampf erhalten. |
| Eisenoxydoxydul . . . | $2\dot{\text{Fe}} + \dddot{\overline{\text{Fe}}}$ | 5,480 | Reiner Eisenhammerschlag. |
| Kalk . . . . . . . . | $\dot{\text{Ca}}$ | 3,179 | |
| Chlorcalcium . . . . . | $\text{Ca}\ \overline{\text{Cl}}$ | { 2,269<br>2,214 | |
| Chlorbaryum . . . . . | $\text{Ba}\ \overline{\text{Cl}}$ | { 3,860<br>4,156 | |
| Jodkalium . . . . . . | $\text{K}\ \overline{\text{I}}$ | { 3,078<br>3,104 | |

Digitized by Google

Die Atomenformeln in vorstehender Tabelle sind Berzelius'sche.

Was die Art, wie das specifische Gewicht genommen ward, betrifft, so wurden die krystallisirten Körper grob gepulvert, die nicht krystallisirten auf mechanische Weise oder durch Niederschlag als feines Pulver dargestellt in kleine Flaschen (von 30 bis 40 Cubikcentimeter Capacität) gethan und mit Wasser, oder wenn sie hierin auflöslich waren, mit Weingeist oder Terpentinöl (deren specifisches Gewicht dann besonders bestimmt ward) bedeckt, die Flasche mit einem Stück eingeschmirgelter Glasröhre verschlossen und gewogen. Um aber zuvor die an den gepulverten Körpern anhängende Luft zu entfernen, wurde die Flüssigkeit kochend auf das Pulver gebracht und die Flaschen dann 12 Stunden lang im leeren Raum sich selbst überlassen, bevor zur Wägung geschritten ward.

Specifisches Gewicht des Eises *). Osann hatte Gelegenheit ganz von Luftblasen freies, ganz klares Eis auf sein specifisches Gewicht zu prüfen, zu welchem Zwecke er die Abwägung desselben in Wasser von 0° anwandte, wobei die S. 227 angeführten Resultate, die je nach der Quantität der angewandten Eisstücke zwischen 0,9198 und 0,9321 schwanken, erhalten wurden. In Übereinstimmung mit diesem specifischen Gewicht fand Osann, daß dies Eis in Terpentinöl von 0° (wo dessen specifisches Gewicht sich zu 0,9313 ergab) nicht untersank und herabgedrückt nicht unten blieb; sonach war es etwas leichter. Mehrere der früheren Bestimmungen des specifischen Gewichts des Eises (zu 0,937, 0,945, 0,950) sind sonach unrichtig.

Unzuverlässigkeit im specifischen Gewichte des Wassers von Weber **). Die englischen und französischen Gewichte sind beide in Bezug auf das specifische Gewicht des Wassers untersucht, aber bisher nicht unmittelbar mit einander genau verglichen worden, so daß das specifische Gewicht des Wassers bis jetzt allein ihren Vergleichungspunkt ausgemacht hat. Begreiflich nun, wenn bei beiden ein verschiedenes specifisches Gewicht des Wassers zu Grunde läge, müßte die directe Vergleichung derselben ein anderes Verhältniß finden lassen, als man bisher nach ihrem Bezuge zum specifischen Gewicht des Wassers angenommen hat. In der That fand Weber einen solchen Unterschied, und er schließt daraus, daß noch eine Unsicherheit in Bestimmung des specifischen Gewichts des Wassers obwalte, indem die Engländer das specifische Gewicht des Wassers $= \frac{1}{1440}$ größer gefunden haben als die Franzosen. Die Data hierzu sind folgende:

Durch Vergleichung des in den preußischen Staatsarchiven niedergelegten Platinkilogramms mit einer Copie des parlamentarischen Troypfun-

*) Kastn. N. Arch. I. 95. Frühere Angaben siehe in Gehlers Wörterbuch III. 118.

**) Pogg. XVIII. 608.

des, welche Weber vom Herrn Professor Schumacher in Altona zum Geschenk erhielt, und selbst mit Hülfe einer Robinson'schen Wage nach dessen, von Herrn Kater verbürgten, Etalon des Troypfundes berichtigte, erhielt er:

1 Pfund Troygewicht = 373,2484 Grammen.

Nun wiegt nach englischen Gesetzen:

1 Cubikzoll destillirten Wassers in der Luft, mit Messinggewichten gewogen, bei 62° F. und 30 Zoll Bar. = 252,458 Gran.

Ferner wiegt nach französischen Gesetzen:

1 Cubikcentimeter destillirten Wassers im leeren Raume bei 4°,1 C. und 0,76 Meter Bar. = 1000 Grammen.

Endlich ist nach Sir George Shuckburgh

1 Meter = 39,37079 Zoll englisch.

Nach diesen drei Angaben wäre:

1 Troypfund = 373,0956 Grammen,

wie man unter andern in dem vom Bureau des Longitudes herausgegebenen Annuaire, von Herrn Mathieu berechnet, angegeben findet.

Der Unterschied der Resultate, den Weber's Beobachtungen und Mathieu's Rechnung geben, läßt sich nicht auf einen Beobachtungsfehler schieben, denn er beträgt 153 Milligrammen, und eben so wenig ist er ein Rechnungsfehler. Übrigens haben auch schon Schumacher und Chelius dieselbe Differenz gerügt *).

Absolutes Gewicht mehrerer Gase, von Buff **).

Die große Schwierigkeit, welche mit der directen Wägung von Gasarten verbunden ist, ist Ursache gewesen, daß man verhältnißmäßig wenig Versuche darüber angestellt hat, deren Resultate überdies zum Theil nicht übereinstimmen. Mehrere der hierbei vorkommenden Schwierigkeiten hat Buff dadurch glücklich vermieden, daß er ein Verfahren anwandte, welches gerade das umgekehrte von dem gewöhnlichen ist. Statt nämlich von einem gewissen Gasvolumen das Gewicht zu bestimmen, wog er bloß die Substanz, woraus sich dies Gas erzeugen konnte, vor und nach der Entwickelung, und maß das Volumen des entwickelten Gases. Mit Übergehung der nähern Beschreibung seines Verfahrens, worüber wir auf die Originalabhandlung verweisen, führen wir bloß die Resultate seiner Versuche an, die sich von den, durch stöchiometrische Betrachtungen gefundenen, sehr wenig unterscheiden:

*) S. Schumachers Vorrede zu Chelius's Maß- und Gewichts-Buch. Ausgabe von 1830.

**) Pogg. XXII. 242.

Gewicht von 1000 Cubikcentimetern trockenen Gases bei 0° C. und 336 Pariser Linien Barometerstand.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Sauerstoffgas . . . . . . . . . | = 1,43300 | *) | Grammen. |
| Salzsäure . . . . . . . . . | = 1,6313 | **) | — |
| Kohlensäure . . . . . . . . . | = 1,9734 | ***) | — |
| Nicht entzündliches Phosphorwasserstoffgas . . . . . . . | = 1,5134 | ****) | — (nicht ganz zuverlässig). |

Die Gewichtsbestimmungen des schwefligsauren Gases fielen bei mehreren Versuchen nicht ganz übereinstimmend aus, da das Gewicht von 1000 C. C. bei 6 Versuchen zwischen 2,8746 und 2,906 Grammen schwankte. Nach dem stöchiometrischen Werthe berechnet würde es bloß 2,8743 Grammen haben betragen müssen.

Tabellen über das absolute und specifische Gewicht der Gase und Dämpfe, aus ihren stöchiometrischen Werthen hergeleitet.

Die nachfolgenden Tabellen sind aus Pogg. XVII. 529 und XXI. (Schluß des Bandes) entlehnt, wo sie sich unter anderen chemischen Tabellen finden. Diese Tabellen sind nach den stöchiometrischen Werthen der Gasarten und Dämpfe, wie sie von Berzelius angenommen werden, entworfen, mit Ausnahme für Bor, Kiesel und Quecksilber; es würde nämlich das Gewicht des Bors, so wie des Quecksilbers nach Berzelius Atomgewichten 2 mal, das des Kiesels aber 3 mal so groß sein, als in den folgenden Tabellen angegeben ist.

Die erste Tabelle giebt die specifischen Gewichte der einfachen Gase sowohl gegen Sauerstoff = 1 als gegen atmosphärische Luft = 1; und die zweite Tabelle giebt das specifische Gewicht der zusammengesetzten Gasarten und Dämpfe, nebst Beifügung mehrerer anderer Umstände. Diejenigen Verbindungen, welche in gewöhnlichen Temperaturen flüssig sind, haben ein ⊙ neben sich; unter dem Drucke der Atmosphäre treten bei diesen die angegebenen Volumenbeziehungen erst bei einer oberhalb ihrer Siedepunkte liegenden Temperatur ein. Aus diesem Grunde ist in der Columne 4 der zweiten Tafel der Siedepunkt dieser Flüssigkeiten aufgeführt.

Die sowohl in Tabelle I. als Tabelle II. beigefügten beobachteten Resultate sind von den berühmtesten Experimentatoren entlehnt. Die Buchsta-

*) Hält zwischen dem Resultat der Biot-Arago'schen und Berzelius-Dulong'schen Wägung die Mitte.

**) Die Theorie giebt 1,6305.

***) Die Theorie giebt 1,9807; Berzelius und Dulong fanden 1,9805; Biot und Arago 1,9741.

****) Dieser Phosphorwasserstoff wurde durch Erhitzen von phosphoriger S. in einer kleinen Retorte und Reinigen durch Ätzkali bereitet. Sein theoretisches Gewicht ist, unter Voraussetzung, daß er aus 1 At. Phosphor und 3 At. Wasserstoff besteht, = 1,6388.

den neben ihnen deuten folgende Namen an: B Berard, Bz Berzelius, BD Berzelius und Dulong, BA Biot und Arago, CD Clement und Desormes, Co Colin, D Dumas, G Gay=Lussac, GT Gay=Lussac und Thénard, HD Humphry Davy, H Henry, S Saussure, T Thénard.

Die dritte Tabelle enthält die absoluten Gewichte jedes Gases von 1000 bis 9000 Cubikcentimetern in Grammen. Diese Gewichte stützen sich auf die von Biot und Arago unternommene Wägung der Luft. Man findet z. B. aus dieser Tabelle, daß 5000 Cubikcentimeter Ätherdampf bei 0° C. und 0m,76 Bar. 16,76390 Grammen wiegen.

Mittelst derselben Tabelle läßt sich aber auch sehr leicht finden, wie viel jedes andere Volumen, was Einer, Zehner und Hunderte mit sich führt, wiegt. Gesetzt z. B. wir wollten wissen, wie viel 3467 Cubikcentimeter Alkoholdampf wiegen, so haben wir die Gewichte von 3000, von 400, von 60 und 7 Cubikcentimetern zusammenzuaddiren. Das Gewicht von 3000 Cubikcentimetern ist 6,23751 Grammen, das Gewicht von 400 Cubikcentimetern finden wir in der Spalte der 4000, indem wir das Komma um eine Decimalstelle zurückrücken, also 0,831668; eben so finden wir das Gewicht von 60 Cubikcentimetern in der Spalte der 6000 und das Gewicht von 7 Cubikcentimetern in der Spalte der 7000, indem wir das Komma respectiv um 2 und 3 Decimalstellen zurückrücken; solchergestalt ergiebt sich durch Addition für das Gewicht von 3467 Cubikcentimetern Alkoholdampf

6,23751
0,83167
0,12475
0,01455

7,20878 Grammen.

Es wird hienach keiner Erörterungen bedürfen, wie durch noch weiteres Zurückrücken auch das Gewicht von Decimalbruchtheilen des Cubikcentimeters gefunden werden kann.

Tabelle I.

Specifisches Gewicht der einfachen Gase.

| 1. Name des Gases. | 2. Bezeichnung. | 3. Dichte gegen die von Sauerstoff = 1 oder Atomgewichte. | 4. Dichtigkeit gegen die von Luft = 1 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Berechnet. | Beobachtet. |
| 1. Sauerstoff . . | O | 1,00000 | 1,10260 | 1,1026 BD |
| 2. Wasserstoff . | H | 0,062398 | 0,06880 | 0,0688 BD |
| 3. Stickstoff . . | N | 0,88518 | 0,97600 | 0,976 BD |
| 4. Fluor . . . | F | 1,16900 | 1,28894 | |
| 5. Chlor . . . | Cl | 2,21325 | 2,44033 | 2,47 GT |
| 6. Brom . . . | Br | 4,89150 | 5,39337 | |
| 7. Jod . . . . | J | 7,89145 | 8,70111 | 8,716 D |
| 8. Schwefel . . | S | 2,01165 | 2,21805 | |
| 9. Kohle . . . | C | 0,76437 | 0,84279 | |
| 10. Bor . . . | B* | 0,67991 | 0,74967 | |
| 11. Kiesel . . . | Si* | 0,92493 | 1,01983 | |
| 12. Phosphor . . | P | 1,96155 | 2,16281 | |
| 13. Arsenik . . . | As | 4,70042 | 5,18268 | |
| 14. Zinn . . . | Sn | 7,35294 | 8,10735 | |
| 15. Titan . . . | Ti | 3,03686 | 3,34844 | |
| 16. Quecksilber . | Hg* | 6,32911 | 6,97848 | 6,976 D |

*) Die mit * bezeichneten Stoffe sind die, deren Atomgewicht anders als nach Berzelius angenommen wird.

Digitized by Google

Tabelle II. Specifisches Gewicht der zusammengesetzten Gase und Dämpfe.

| 1. Name der Gase. | 2. Bestandtheile eines Volumens der Verbindung. Volumina. | 3. Verdichtungsverhältniß. | 4. Siedepunkt [1]) | 5. Dichtigkeit gegen die von Sauerstoff = 1 | 6. Dichtigkeit gegen die der Luft = 1 Berechnet. | 7. Dichtigkeit gegen die der Luft = 1 Beobachtet. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 17. Atmosphärische Luft | $\frac{4}{5}$ N + $\frac{1}{5}$ O | 1 : 1 | | 0,90814 [2]) | 1,00000 | |
| 18. Stickstoffoxyd | $\frac{1}{2}$ N + $\frac{1}{2}$ O | | | 0,94259 | 1,03930 | 1,0388 B |
| 19. Kohlenoxyd | $\frac{1}{2}$ C + $\frac{1}{2}$ O | | | 0,88219 | 0,97269 | 1,9409 CD |
| 20. Fluorwasserstoff | $\frac{1}{2}$ F + $\frac{1}{2}$ H | | | 0,61570 | 0,67887 | |
| 21. Chlorwasserstoff | $\frac{1}{2}$ Cl + $\frac{1}{2}$ H | | | 1,13782 | 1,25456 | 1,2474 BA |
| 22. Bromwasserstoff | $\frac{1}{2}$ Br + $\frac{1}{2}$ H | | | 2,47695 | 2,73107 | |
| 23. Jodwasserstoff | $\frac{1}{2}$ J + $\frac{1}{2}$ H | | | 3,97692 | 4,38495 | 4,44 G |
| 24. Cyanwasserstoff ⊙ | $\frac{1}{2}$ NC + $\frac{1}{2}$ H | | 26°,5 | 0,85597 | 0,94379 | 0,9476 G |
| 25. Cyanchlorür ⊙ | $\frac{1}{2}$ NC + $\frac{1}{2}$ Cl | | | 1,93140 | 2,12956 | |
| Salpeteräther ⊙ | $\frac{1}{2}$ Äth. + $\frac{1}{2}$ salpetr. Säure | | 21° b. 758 | 2,36296 [3]) | 2,60539 | 2,626 D |
| Essigäther ⊙ | $\frac{1}{2}$ Äth. + $\frac{1}{2}$ Essigsäure | | 74° b. 760 | 2,77833 [4]) | 3,06338 | 3,067 D |
| Benzoëäther ⊙ | $\frac{1}{2}$ Äth. + $\frac{1}{2}$ Benzoësäure | | 209 | 4,97395 [5]) | 5,48424 | 5,409 D |
| Alkohol ⊙ | $\frac{1}{2}$ Äth. + $\frac{1}{2}$ Aq. | | 78°,4 b. 760 | 1,45157 [6]) | 1,60049 | 1,6133 G |
| 26. Wasser ⊙ | 1 H + $\frac{1}{2}$ O | $1\frac{1}{2}$ : 1 | 100° b. 760 | 0,562398 | 0,62010 | 0,6235 G |
| 27. Stickstoffoxydul | 1 N + $\frac{1}{2}$ O | | | 1,38518 | 1,52730 | 1,5204 Co |
| 28. Chloroxydul | 1 Cl + $\frac{1}{2}$ O | | | 2,71325 | 2,99163 | 2,409 HD |
| 29. Kohlensäure | $\frac{1}{2}$ C + 1 O | | | 1,38218 | 1,52400 | 1,524 BD |
| 30. Schweflige Säure | $\frac{1}{2}$ S + 1 O | | − 10° | 2,00582 | 2,21162 | 2,247 Bz |
| 31. Schwefelwasserstoff | $\frac{1}{2}$ S + 1 H | | | 1,06822 | 1,17782 | 1,1912 GT |
| 32. Schwefelkohlenstoff ⊙ | $\frac{1}{2}$ C + 1 S | | + 45°,5 | 2,39383 | 2,63944 | 2,6447 G |
| Cyanwasserstoff ⊙ | $\frac{1}{2}$ C + $\frac{1}{2}$ N + $\frac{1}{2}$ H | | 26°,5 | 0,85597 | 0,94379 | 0,9476 G |
| Cyanchlorür ⊙ | $\frac{1}{2}$ C + $\frac{1}{2}$ N + $\frac{1}{2}$ Cl | | | 1,93140 | 2,12956 | |

## Anmerkungen zur Tabelle auf Seite 237.

1) In Centesimalgraden mit Beifügung des atmosphärischen Drucks in Millimetern, wo derselbe näher angegeben wurde.

2) In der Annahme, daß die Gemengtheile der Luft genau im angegebenen Verhältniß stehen. Die Dichte der wirklichen Luft, die des Sauerstoffgases zur Einheit genommen, ist = 0,90695.

3) In der Annahme, daß 1 Vol. salpeteriger Säure aus 1 Vol. Stickgas und $1\frac{1}{2}$ Vol. Sauerstoffgas bestehe.

4) In der Annahme, daß 1 Vol. wasserfreier Essigsäure aus 3 Vol. Wasserstoffgas, 2 Vol. Kohlengas und $1\frac{1}{2}$ Vol. Sauerstoffgas bestehe, also gegen Luft eine Dichtigkeit = 3,54588 besitze.

5) In der Annahme, daß 1 Vol. Benzoësäure aus 6 Vol. Wasserstoffgas, $7\frac{1}{2}$ Vol. Kohlengas und $1\frac{1}{2}$ Vol. Sauerstoffgas bestehe, folglich gegen Luft eine Dichtigkeit = 8,38760 besitze.

6) Das specifische Gewicht des Alkoholdampfes ist demnach das arithmetische Mittel aus den specifischen Gewichten des Äther- und des Wasser-Dampfes. Eben so mischen sich, nach Gay-Lussac's Beobachtungen, Alkoholdampf und Wasserdampf mit einander, ohne eine Verdichtung zu erleiden; während bekanntlich beim Vermischen dieser Körper in flüssiger Gestalt unter Wärmeentwickelung eine Volumensverringerung erfolgt.

Tabelle III. Absolutes Gewicht der Gase in Grammen bei 0° C. und 0m,76 Bar.

Cubikcentimeter.

| | 1000. | 2000. | 3000. | 4000. | 5000. | 6000. | 7000. | 8000. | 9000. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Äther . . . . . . | 3,35278 | 6,70556 | 10,05834 | 13,41112 | 16,76390 | 20,11658 | 23,46946 | 26,82224 | 30,17502 |
| Alkohol . . . . . | 2,07917 | 4,15834 | 6,23751 | 8,31668 | 10,39585 | 12,47502 | 14,55419 | 16,63336 | 18,71253 |
| Ammoniak . . . . | 0,76802 | 1,53604 | 2,30406 | 3,07208 | 3,84010 | 4,60812 | 5,37614 | 6,14416 | 6,91218 |
| Arsenik . . . . | 6,73269 | 13,46538 | 20,19807 | 26,93076 | 33,66345 | 40,39614 | 47,12883 | 53,86152 | 60,59421 |
| Arsenikwasserstoff . | 3,50042 | 7,00084 | 10,50126 | 14,00168 | 17,50210 | 21,00252 | 24,50294 | 28,00336 | 31,50378 |
| Bor . . . . . . | 0,97388 | 1,94776 | 2,92164 | 3,89552 | 4,86940 | 5,84328 | 6,81716 | 7,79104 | 8,76492 |
| Brom . . . . . . | 7,00639 | 14,01278 | 21,01917 | 28,02556 | 35,03195 | 42,03834 | 49,04473 | 56,05112 | 63,05751 |
| Bromwasserstoff . | 3,54788 | 7,09576 | 10,64364 | 14,19152 | 17,73940 | 21,28728 | 24,83516 | 28,38304 | 31,93092 |
| Chlor . . . . . . | 3,17017 | 6,34034 | 9,51051 | 12,68068 | 15,85085 | 19,02102 | 22,19119 | 25,36136 | 28,53153 |
| Chlorwasserstoff . . | 1,62977 | 3,25954 | 4,88931 | 6,51908 | 8,14885 | 9,77862 | 11,40839 | 13,03816 | 14,66793 |
| Cyan . . . . . . | 2,36275 | 4,72550 | 7,08825 | 9,45100 | 11,81375 | 14,17650 | 16,53925 | 18,90200 | 21,26475 |
| Cyanwasserstoff . . | 1,22606 | 2,45212 | 3,67818 | 4,90424 | 6,13030 | 7,35636 | 8,58242 | 9,80848 | 11,03454 |
| Fluor . . . . . . | 1,67443 | 3,34886 | 5,02329 | 6,69772 | 8,37215 | 10,04658 | 11,72101 | 13,39544 | 15,06987 |
| Fluorwasserstoff . . | 0,88190 | 1,76380 | 2,64570 | 3,52760 | 4,40950 | 5,29140 | 6,17330 | 7,05520 | 7,93710 |
| Jod . . . . . . | 11,30340 | 22,60680 | 33,91020 | 45,21360 | 56,51700 | 67,82040 | 79,12380 | 90,42720 | 101,73060 |
| Jodwasserstoff . . | 5,69639 | 11,39278 | 17,08917 | 22,78556 | 28,48195 | 34,17834 | 39,87473 | 45,57112 | 51,26751 |
| Kiesel . . . . . | 1,32483 | 2,64966 | 3,97449 | 5,29932 | 6,62415 | 7,94898 | 9,27381 | 10,59864 | 11,92347 |
| Kohle . . . . . . | 1,094850 | 2,189700 | 3,284550 | 4,379400 | 5,47425 | 6,56910 | 7,66395 | 8,75880 | 9,85365 |

**Tabelle III.** Absolutes Gewicht der Gase in Grammen bei 0° C. und $0^m,76$ Bar.

Cubikcentimeter.

| | 1000. | 2000. | 3000. | 4000. | 5000. | 6000. | 7000. | 8000. | 9000. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kohlenoxyd . . . | 1,26360 | 2,52720 | 3,79080 | 5,05440 | 6,31800 | 7,58160 | 8,84520 | 10,10880 | 11,37240 |
| Kohlensäure . . . | 1,97978 | 3,95956 | 5,93934 | 7,91912 | 9,89890 | 11,87868 | 13,85846 | 15,83824 | 17,81802 |
| Kohlenwasserst., erster | 0,72619 | 1,45238 | 2,17857 | 2,90476 | 3,63095 | 4,35714 | 5,08333 | 5,80952 | 6,53571 |
| Kohlenwasserst., zweiter | 1,27361 | 2,54722 | 3,82083 | 5,09444 | 6,36805 | 7,64166 | 8,91527 | 10,18888 | 11,46249 |
| Phosphor . . . | 2,80965 | 5,61930 | 8,42895 | 11,23860 | 14,04825 | 16,85790 | 19,66755 | 22,47720 | 25,28685 |
| Phosphorwasserstoff | 1,53889 | 3,07778 | 4,61667 | 6,15556 | 7,69445 | 9,23334 | 10,77223 | 12,31112 | 13,85001 |
| Quecksilber . . . | 9,06557 | 18,13114 | 27,19671 | 36,26228 | 45,32785 | 54,39342 | 63,45899 | 72,52456 | 81,59013 |
| Sauerstoff . . . | 1,43236 | 2,86472 | 4,29708 | 5,72944 | 7,16180 | 8,59416 | 10,02652 | 11,45888 | 12,89124 |
| Schwefel . . . . | 2,88141 | 5,76282 | 8,64423 | 11,52564 | 14,40705 | 17,28846 | 20,16987 | 23,05128 | 25,93369 |
| Schweflige Säure . | 2,87306 | 5,74612 | 8,61918 | 11,49224 | 14,36530 | 17,23836 | 20,11142 | 22,98448 | 25,85754 |
| Schwefelwasserstoff | 1,53008 | 3,06016 | 4,59024 | 6,12032 | 7,65040 | 9,18048 | 10,71056 | 12,24064 | 13,77072 |
| Stickstoff . . . . | 1,26790 | 2,53580 | 3,80370 | 5,07160 | 6,33950 | 7,60740 | 8,87530 | 10,14320 | 11,41110 |
| Stickstoffoxyd . . | 1,35013 | 2,70026 | 4,05039 | 5,40052 | 6,75065 | 8,10078 | 9,45091 | 10,80104 | 12,15117 |
| Stickstoffoxydul . . | 1,98408 | 3,96816 | 5,95224 | 7,93632 | 9,92040 | 11,90448 | 13,88856 | 15,87264 | 17,85672 |
| Titan . . . . . | 4,34988 | 8,69976 | 13,04964 | 17,39952 | 21,74940 | 26,09928 | 30,44916 | 34,79904 | 39,14892 |
| Wasser . . . . | 0,80556 | 1,61112 | 2,41668 | 3,22224 | 4,02780 | 4,83336 | 5,63892 | 6,44448 | 7,25004 |
| Wasserstoff . . . | 0,08938 | 0,17876 | 0,26814 | 0,35752 | 0,44690 | 0,53628 | 0,62566 | 0,71504 | 0,80442 |
| Zinn . . . . . | 10,53210 | 21,06420 | 31,59630 | 42,12840 | 52,66050 | 63,19260 | 73,72470 | 84,25680 | 94,78890 |

# Zweiter Abschnitt.

## Lehre vom Schall.

---

### I. Fortpflanzung des Schalls.

Ueber das Verhältniß der Schallgeschwindigkeit in elastischen Stäben, Platten und Körpern von drei Dimensionen. Aus Poisson's und Cauchy's Untersuchungen geht hervor, daß, wenn man mit einander vergleicht:

a) die Schallgeschwindigkeit in einem nach allen Richtungen gleich elastischen homogenen Stabe von unendlicher Länge aber sehr kleiner Breite und Dicke *);

b) in einer, nach allen Richtungen gleich elastischen, homogenen, sehr dünnen ebenen Platte von unendlicher Ausdehnung nach den zwei Dimensionen ihrer Fläche;

c) in einem, nach allen Richtungen gleich elastischen, homogenen Körper von unendlicher Ausdehnung nach allen drei Dimensionen,

so verhalten sich diese drei Schallgeschwindigkeiten (bei vernachlässigtem Druck auf die Oberfläche der elastischen Körper und vernachlässigter Schwere) **) respectiv wie:

$$\sqrt{15} : \sqrt{16} : \sqrt{18}$$

mithin die erste und dritte wie $\sqrt{5} : \sqrt{6}$; die zweite und dritte wie $\sqrt{8} : \sqrt{9}$

Man erhält nämlich unter den gegebenen Voraussetzungen folgende Formeln zur Bestimmung dieser Schallgeschwindigkeiten:

*) Wiewol in der Wirklichkeit Körper von unendlicher Ausdehnung nach einer, zwei oder drei Dimensionen nicht zu erlangen sind, so wird man doch die obigen für solche berechneten Gesetze in hinlänglicher Genauigkeit wiederfinden, wofern nur die Längenausdehnung des Stabes z. B. sehr groß im Verhältniß zu seiner Breite und Dicke ist, u. s. f.

**) Auch die geringe Beschleunigung, welche in der Schnelligkeit dadurch entsteht, daß vermöge der Condensation bei Schallschwingungen etwas Wärme frei wird, ist hierbei vernachlässigt, was bei festen Körpern weit eher geschehen kann, als bei Gasen.

Für den Stab *): $\Omega = \sqrt{\frac{5k}{2\varrho}}$ oder $= 2aN$

Für die Platte **): $\Omega = \sqrt{\frac{8k}{3\varrho}}$ oder $= 2a \sqrt{\frac{15}{16}} N$

Für den Körper ***): $\Omega = \sqrt{\frac{3k}{\varrho}}$ oder $= 2a \sqrt{\frac{5}{6}} N$.

In diesen Formeln bedeutet:

$\Omega$ die Schallgeschwindigkeit in der Zeiteinheit;

$\varrho = \frac{p}{g}$, das Maß der Dichtigkeit des Stabes, der Platte oder des Körpers.

p das Gewicht der Volumeinheit (Cubikeinheit) des Körpers.

g das Doppelte des Fallraumes, der in der ersten Secunde durchlaufen wird, = 9,8088 Meter.

N die Anzahl longitudinaler Schwingungen, welche ein an beiden Enden freier Stab von der Länge a vollbringt, der aus derselben Materie besteht, als der betrachtete Stab, Platte oder Körper.

$k = \frac{2\left(\tau + \frac{p}{2}\right)a}{5\alpha\omega}$, das Maß der Elasticität; wo $\alpha$ die Verlängerung ist, die ein verticaler Stab aus der in Betracht gezogenen Materie, welcher ursprünglich die Länge a, den Querschnitt $\omega$ und das Gewicht p besitzt, erfährt, wenn an seinem unteren Ende ein Gewicht $\tau$ wirkt, während sein oberes befestigt ist; wobei vorausgesetzt ist, daß die Verlängerung innerhalb der Gränzen der vollkommenen Elasticität geschehe, d. h. daß nach Entfernung des Gewichts $\tau$ der Stab wieder zu seinen ursprünglichen Dimensionen zurückkehre ****).

Die Zahlwerthe des Coefficienten k fallen verschieden aus, je nachdem man verschiedene Längen- und Gewichtseinheiten bei seiner Bestimmung zu Grunde legt.

Ihre Verhältnisse sind jedenfalls (nach verschiedenen Beobachtern bestimmt) folgende, wobei wir den Werth für das Wasser als Einheit zu Grunde legen wollen †) (Pogg. XIII. S. 411).

*) Cauchy in s. Exerc. III. p. 365. IV. p. 46. Poisson in Mém. de l'Acad. VIII. p. 441.

**) Cauchy in s. Exerc. III. p. 346.

***) Cauchy in s. Exerc. III. p. 365. Poisson in Mém. de l'Acad. VIII. p. 406.

****) Mém. de l'Acad. T. VIII. p. 430.

†) Der Werth von k für das Wasser wird aus seiner Compressibilität abgeleitet.

| | Relative Werthe von k | Quadratwurzeln dieser Werthe. | Beobachter. |
|---|---|---|---|
| Wasser . . . . . | 1,000 | 1,000 | Colladon und Sturm. |
| Blei . . . . . . . | 1,092 | 1,045 | Lagerhielm. |
| Messing gegossen | 3,009 | 1,735 | Tredgold. |
| Glas . . . . . . | 3,407 | 1,846 | Chladni. |
| Silber . . . . . . | 4,102 | 2,025 | Lagerhielm. |
| | 4,269 | 2,066 | Chladni. |
| Messing gezogen | 4,826 | 2,205 | Savart und Chladni |
| Gußeisen . . . . | 6,092 | 2,468 | Tredgold. |
| Kupfer . . . . . | 6,269 | 2,504 | Savart. |
| | 6,435 | 2,537 | Lagerhielm. |
| Stangeneisen . . | 9,565 | 3,093 | Savart. |
| | 9,907 | 3,148 | Lagerhielm. |

Die Zahlen, welche in der mit Quadratwurzeln überschriebenen Spalte enthalten sind, drücken zugleich das Verhältniß der Schallgeschwindigkeiten in den verschiedenen Substanzen aus.

Es verdient bemerkt zu werden, daß die Formel, welche für den Stab angegeben worden ist, auch noch in dem Falle gilt, wenn der Stab nicht aus einem nach allen Richtungen gleich elastischen Körper herausgeschnitten worden ist, sondern aus einem, der verschiedene Elasticitäten nach verschiedenen Richtungen besitzt, wie Cauchy (Exerc. IV. p. 28. 29) dargethan hat, nur wird es nöthig, wenn man die Bestimmung nicht nach den Longitudinalschwingungen eines solchen Stabes, sondern nach der Verlängerung, die er durch ein Gewicht erfährt (zur Bestimmung von k) vornehmen will; diese Prüfung nicht an einem beliebigen Stabe derselben Materie, sondern an demselben oder einem, nach der Richtung einer gleichen Elasticität geschnittenen Stabe, als für den die Schallgeschwindigkeit bestimmt werden soll, vorzunehmen.

Cauchy hat auch bestimmt (Exerc. IV. p. 30), wie man, wenn ein Körper drei auf einander rechtwinklige Axen der Elasticität hat, die Schallgeschwindigkeit in Stäben, welche nach verschiedenen Richtungen herausgeschnitten werden, berechnen kann, wenn man sie für 6 verschiedene Richtungen durch Versuche gefunden hat.

Es sey ein solcher Körper mit drei auf einander rechtwinkligen Axen der Elasticität gegeben; man schneide successiv sehr dünne und lange Stäbe daraus:

1) nach den drei auf einander rechtwinkligen Richtungen der Elasticitätsaxen;
2) nach den drei Richtungen, welche die Winkel, die die vorigen Richtungen mit einander bilden, mittendurch theilen.

Man prüfe die Schallgeschwindigkeit nach diesen sechs Richtungen entweder unmittelbar oder durch die longitudinalen Oscillationen der Stäbe oder

16*

ihre Verlängerungen durch Gewichte. Man nenne die so gefundenen drei ersten Schallgeschwindigkeiten: $\Omega'$, $\Omega''$, $\Omega'''$; die drei letzten: $\Omega_1$, $\Omega_2$, $\Omega_3$ Dann wird die Schallgeschwindigkeit $\Omega$ eines Stabes, der nach der Richtung herausgeschnitten ist, welche drei gleiche Winkel mit den Elasticitätsaxen bildet, folgendergestalt bestimmt:

$$\frac{1}{\Omega^2} = \frac{4}{9}\left(\frac{1}{\Omega_1^2} + \frac{1}{\Omega_2^2} + \frac{1}{\Omega_3^2}\right) - \frac{1}{9}\left(\frac{1}{\Omega'^2} + \frac{1}{\Omega''^2} + \frac{1}{\Omega'''^2}\right)$$

Um aber die Schallgeschwindigkeiten für alle Stäbe, die nach beliebigen Richtungen um einen gewissen Punkt aus dem Körper mit drei auf einander rechtwinkeligen Elasticitätsaxen herausgeschnitten werden können (d. h. für alle Stäbe, die wie Radien von einem gewissen Punkte im Körper ausgehend gedacht werden können), zu bestimmen; dient folgende Gleichung des vierten Grades, welche eine Oberfläche repräsentirt, deren Radii vectores das Maß für die Werthe von $\Omega\sqrt{\varrho}$ *) abgeben, welche Stäben angehören, die nach der Richtung dieser Radii vectores aus dem Körper herausgeschnitten werden:

$$\mathfrak{A}x^4 + \mathfrak{B}y^4 + \mathfrak{C}z^4 + 2\,\mathfrak{D}y^2z^2 + 2\,\mathfrak{E}z^2x^2 + 2\,\mathfrak{F}x^2y^2 = 1$$

Die Axen der x, y, z sind hierbei den Elasticitätsaxen parallel angenommen; die Coefficienten aber dieser Gleichung werden durch folgende Hülfsgleichungen bestimmt, worin $\Omega'$, $\Omega''$, $\Omega'''$ die Geschwindigkeiten nach den Richtungen der Axen x, y, z bedeuten; $\Omega_1$, $\Omega_2$, $\Omega_3$ die Geschwindigkeiten respectiv in den Ebenen der yz, xz, yx, nach Richtungen, welche die Winkel der Coordinatenaxen halbiren.

$$\frac{1}{\Omega'^2} = \varrho\mathfrak{A},\ \frac{1}{\Omega''^2} = \varrho\mathfrak{B},\ \frac{1}{\Omega'''^2} = \varrho\,\mathfrak{C}$$

$$\frac{1}{\Omega_1^2} = \frac{1}{2}\varrho\left(\frac{\mathfrak{B}+\mathfrak{C}}{2} + \mathfrak{D}\right),\ \frac{1}{\Omega_2^2} = \frac{1}{2}\varrho\left(\frac{\mathfrak{E}+\mathfrak{A}}{2} + \mathfrak{C}\right)$$

$$\frac{1}{\Omega_3^2} = \frac{1}{2}\varrho\left(\frac{\mathfrak{A}+\mathfrak{B}}{2} + \mathfrak{F}\right)$$

## Schallgeschwindigkeit in der Luft und verschiedenen Gasarten.

**Berechnung der Schallgeschwindigkeit in der Luft.** Bekanntlich läßt sich nach Newton's, durch Laplace verbesserter, Formel die Schallgeschwindigkeit nach folgender Formel berechnen:

$$\Omega^2 = \frac{k\,g\,p}{D}$$

Worin $\Omega$ die Geschwindigkeit des Schalls (z. B. in Metern), g die Intensität der Schwerkraft = 9,8088 Meter, p der atmosphärische Druck (in Metern Quecksilberhöhe), D die Dichtigkeit des Mittels, in welchem der Schall fortgepflanzt wird (die Dichtigkeit des Quecksilbers = 1 gesetzt), k aber ein constanter Coefficient, welcher das Verhältniß zwischen der spe-

*) $\varrho$ wie vorhin die Dichtigkeit des Körpers.

cifischen Wärme der Luft unter constantem Druck zu der specifischen Wärme der Luft unter constantem Volumen bezeichnet, ist. Dieser Coefficient k ist bis jetzt nach Gay-Lussac's und Welter's Versuchen = 1,3748 angenommen worden: doch ergab sich, wenn man hiernach die Schallgeschwindigkeit berechnete, dieselbe stets etwas kleiner als die beobachtete. Wenn man nun versucht, wie groß dieser Coefficient genommen werden müßte, um die genauesten Beobachtungen über die Geschwindigkeit des Schalls mit der Formel in übereinstimmung zu bringen, so findet man nach Dulong's *) Berechnung **), (der nach einem Mittel vieler von einander abweichender Beobachtungen 333 Meter bei 0° C. als Schallgeschwindigkeit in 1 Sec. zu Grunde legt) 1,421 für den Werth desselben. Dulong ist in der That geneigt, dies für den wirklichen Werth des Verhältnisses beider specifischen Wärmen zu nehmen, indem er glaubt, daß dasselbe von Gay-Lussac und Welter nicht richtig bestimmt worden sey.

Über das Verfahren, die Schallgeschwindigkeit in der Luft aus der Länge oder dem Tone von Labialpfeifen zu bestimmen. Bekanntlich findet zwischen der Länge l einer gedeckten Labialpfeife, der Schwingungszahl n, welche ihrem Grundtone entspricht, und der Schallgeschwindigkeit $\Omega$ ***) folgende theoretische Beziehung Statt:

$$\Omega = 2nl$$

Hiernach wäre es eine sehr einfache Sache, die Schallgeschwindigkeit aus dem Tone einer Labialpfeife von bekannter Länge abzuleiten ****), wenn nicht der (verkleinernde) Einfluß des Mundlochs auf die Größe der (dem Mundloch zunächst liegenden) schwingenden Abtheilung diese theoretisch richtige Beziehung in der Wirklichkeit abänderte, wie dies Poisson auf mathematischem Wege erwiesen hat †). In Folge dieses Umstandes findet man, wenn man die Schallgeschwindigkeit nach obigem einfachen Verhältniß aus der Länge und dem Grundton einer Zungenpfeife ableiten will, stets eine zu kleine Schallgeschwindigkeit ††).

Es bot sich, bei der Unstatthaftigkeit dieses Verfahrens, ein anderes, von Bernoulli angegebenes, Mittel dar, die Labialpfeifen zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit zu benutzen, welches anscheinend einer großen Genauigkeit fähig ist, da es vom Einfluß des Mundlochs unabhängig ist. Dies Mittel besteht darin, daß man in die tönende Röhre einen Stem-

*) Pogg. XVI. S. 438.

**) Eine Bestätigung derselben durch Simons an den Versuchen von Moll und v. Beek s. in den Philos. transact. J. 1830. I. p. 209 oder Pogg. XIX. S. 115.

***) $\Omega$, n und l' begreiflich auf gleiche Einheiten der Zeit und des Raumes bezogen.

****) Die Schwingungszahl, welche dem Tone zugehört, bestimmt man am besten dadurch, daß man den Ton des bekannten Instruments, der Sirene, damit in Einklang bringt.

†) Mém. de l'acad. des sc. 1817. p. 303.

††) Vgl. Pogg. XVI. 460

pel so weit einschiebt, bis sie denselben Ton giebt, welchen sie offen gab. Der Abstand der Vorderfläche des Stempels von der Mündung der Röhre, also die Länge des in die Röhre eingetretenen Stempelstücks, kann als die Länge der gedeckten Röhre betrachtet werden, welche, wenn der Einfluß des Mundlochs nicht Statt fände, denselben Ton geben würde. Nennt man mithin l' die Länge des eingetretenen Stempelstücks, so wird jetzt die Formel

$$\Omega = 2nl'$$

der wirklichen Schallgeschwindigkeit genauer entsprechen.

Indeß haben doch genaue Versuche von Dulong *) gezeigt, daß, wenn man gleich mittelst dieser Verfahrungsart der wirklichen Schallgeschwindigkeit näher kommt, als mittelst der vorigen, man dessenungeachtet immer noch constant ein etwas zu kleines Resultat für dieselbe erhält. Während nämlich nach einem Mittel aus den genauesten directen Beobachtungen für die Temperatur der Versuche die wirkliche Geschwindigkeit des Schalls der atmosphärischen Luft hätte 345,2 Meter betragen sollen, fand sie sich (im Mittel von vier Versuchen für jedes Verfahren) nach dem ersten Verfahren berechnet blos = 316,0 Meter, und nach dem zweiten berechnet = 337,7 Meter.

Es ist noch nicht mit Bestimmtheit ermittelt, woher diese Differenz rührt. Dulong vermuthet ihren Grund darin, daß man in der mathematischen Theorie der Labialpfeifen voraussetzt, die Schwingungen geschehen parallel der Axe der Röhre und senkrecht gegen diese finde keine Bewegung Statt, was aber bei der gewöhnlich angewandten Art von Mundloch nicht der Fall ist, wie sich Savart durch entscheidende Versuche **) überzeugt hat. Dulong ist nach der Gesammtheit seiner Beobachtungen geneigt, anzunehmen, daß die Knotenflächen, welche sich bei der offenen Pfeife bilden, nicht dieselbe Gestalt und örtliche Lage haben, wie dann, wenn man nach Einschiebung des Stempels den nämlichen Ton mit der Pfeife erhält.

Dulong versuchte demnächst, ob man mit einer Erschütterungsart, die der Voraussetzung der Theorie mehr entspreche, zu einer genaueren Übereinstimmung gelangen würde. Er ließ zu diesem Zwecke an jede der Zinken einer Stimmgabel eine Kupferscheibe von zwei Centimetern löthen, bestimmte ihren Ton, und ließ nun das Instrument vor der Mündung einer gedeckten Röhre (so daß die Ebenen der Scheiben der Ebene der Mündung parallel waren) schwingen, welche er durch Hineinschütten von Quecksilber verkürzte, bis ihr Ton mit dem des Instruments übereinstimmte, und zugleich der möglichst stärkste war ***). Nachdem nun die Länge der Röhre gemessen worden, konnte ebenfalls ihre Beziehung zur Schallge-

*) Pogg. XVI. S. 461.

**) Ann. de Ch. et de Ph. XXIX. 406.

***) Es kann nämlich mittelst Resonanz ein und derselbe Ton durch Röhren verschiedener Länge hervorgebracht werden.

schwindigkeit aufgesucht werden. Dulong fand jedoch hierbei, daß diese Länge blos 22,9 Centimeter betrug, während sie, um der wirklichen Schallgeschwindigkeit zu entsprechen, 25,9 Centimeter hätte betragen sollen, so daß also auch diese Erschütterungsart, obgleich sie Schwingungen parallel der Axe hervorbringen muß, noch auf eine zu geringe Schallgeschwindigkeit führt. Dies rührt jedoch offenbar daher, daß die Mündung der Röhre durch die Gegenwart der schwingenden Scheibe mehr oder weniger bedeckt wird, was die Größe der schwingenden Abtheilung ändert.

Auch als Dulong blos eine Stimmgabel ohne angelöthete Scheiben vor der Röhre schwingen ließ, ward ein zu kleines Resultat erhalten.

Es scheint sonach nicht statthaft, auf eine der angegebenen Arten von tönenden Labialpfeifen zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Schalls Gebrauch zu machen. Nimmt man indessen die Geschwindigkeit des Schalls in der atmosphärischen Luft als bekannt durch directe Versuche an, (wo sie Dulong nach einem Mittel aus nahe übereinstimmenden Versuchen andrer Beobachter gleich 333 Meter in einer Secunde bei 0° C. in trockner Luft setzt), so kann man allerdings die Geschwindigkeit des Schalls in andern Gasarten dann durch bloße Vergleichung der Tonhöhe einer successiv mit Luft und mit diesen Gasarten gefüllten Pfeife bestimmen, indem sich bei gleicher Temperatur diese Geschwindigkeiten direct wie die Schwingungszahlen der Gassäulen verhalten werden *). Dies Mittel ist allerdings schon früher von andern Beobachtern zur Vergleichung der Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Gasarten angewendet worden. Indeß hat erst Dulong **) die wirkliche Statthaftigkeit desselben dadurch erwiesen, daß er die Behauptung Biot's ***), daß eine Säule Gas in einer Labialpfeife von derselben Länge je nach der Beschaffenheit des Gases sich in schwingenden Abtheilungen von sehr ungleicher Länge eintheile, durch seine Erfahrungen widerlegt hat. Wäre nämlich dieser Umstand richtig, so hätte aus der Vergleichung der Tonhöhen einer mit verschiedenen Gasen gefüllten Labialpfeife gar keine Folgerung in Bezug zur Schallgeschwindigkeit gezogen werden können, da die obige Regel eine gleiche Abtheilungsart bei den verschiedenen Gasen voraussetzt. Mittelst eines sehr sorgfältig construirten Apparats, welcher erlaubte, alle Umstände bei den verschiedenen Gasarten recht vergleichbar zu machen, fand aber Dulong, daß, wenn er bei offenem Rohre den Grund-

*) Sind die Beobachtungen bei ungleicher Temperatur angestellt, z. B. die eine bei t, die andre bei t' Graden C über einer gewissen Normaltemperatur (z. B. über Null Grad), so kann man beide vergleichbar machen durch Reduction auf diese Normaltemperatur, indem man die bei t und t' Graden beobachteten Schwingungszahlen respectiv mit $\sqrt{1+0{,}00375t}$ und $\sqrt{1+0{,}00375t'}$ dividirt. In der That hat sich Dulong durch directe Versuche (Pogg. XVI. S. 464) überzeugt, daß, wenigstens zwischen 0° und 22°, diese Correction der Erfahrung genau entspricht.

**) Pogg. XVI. S. 468.

***) Bull. de la soc. philom. 1816. p. 162.

ton erhalten hatte und nun, bei fortgesetztem Ertönen der Röhre durch das unter dem constanten Druck der Atmosphäre blasende Gas, einen Stempel so weit hineinschob, bis wieder der anfängliche Ton erhalten worden, die Größe, um welche der Stempel hineingeschoben werden mußte, bei allen Gasen (Luft, Sauerstoffgas, Wasserstoffgas, kohlens. Gas u. s. w.) gleich ausfiel, mithin die Knotenfläche überall eine gleiche Lage hatte.

Über das Verfahren, die Schallgeschwindigkeit in der Luft aus der Länge und dem Tone von Zungenpfeifen zu berechnen. Weber *), der sich so große Verdienste um die Theorie der Zungenpfeifen erworben hat, schlägt die Anwendung dieser statt der Labialpfeifen zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit vor, und giebt zwei Methoden hierzu an. Die Werthe für die Schallgeschwindigkeit, welche man durch dieselben findet, zeigen eine vortreffliche Übereinstimmung mit dem Werthe, den man nach Laplace's Formel für $k = 1{,}375$ berechnet (vgl. S. 244) und wenn man sonach diese Geschwindigkeit für die wahre nimmt, so schiene diese Methode nichts zu wünschen übrig zu lassen. Insofern sich jedoch die Ergebnisse der genauesten Beobachtungen dahin zu vereinigen scheinen, daß die für diesen Werth von k berechnete Geschwindigkeit etwas zu klein ausfällt, würde man freilich auch auf diesem Wege eine etwas zu kleine Geschwindigkeit erhalten **), so wie auch alle Verfahrungsarten, die sich auf die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit aus der Länge der Labialpfeifen gründen, eine etwas zu kleine Schallgeschwindigkeit im Verhältniß zur wirklichen geliefert haben. Unstreitig hängen die Umstände bei beiden Arten Pfeifen zusammen.

Erste Methode. Bei Betrachtung der Zungenpfeifen wird erörtert werden, daß, wenn eine solche Pfeife bei einer gewissen Länge u einen bestimmten Ton giebt, man dann eine zweite größere Länge $u + l'$ finden wird, wo sie denselben Ton giebt: und daß dieser Ton dann auch bei den Längen $u + 2l'$, $u + 3l'$ u. s. f. wiederkehren wird. Hat man nun einerseits die Größe $l'$, andrerseits die zugehörige aus dem Tone der Zungenpfeife zu findende Schwingungszahl der Pfeife $n'$ bestimmt, so läßt sich daraus die Schallgeschwindigkeit $\Omega$ nach folgender einfachen Formel berechnen:

$$\Omega = l' n'$$

bei dieser Formel ist jedoch vorausgesetzt, daß $l'$ nicht die Länge einer offenen Röhre überschreite, welche den Ton des abgesonderten Mundstücks als Grundton giebt; aber doch über $\frac{2}{3}$ dieser Länge betrage.

Zweite Methode. Kennt man nicht die Größe $l'$, sondern die ganze Länge $l$ einer gegebenen Zungenpfeife und ihren Ton, so muß man, um $\Omega$ zu

*) Pogg. XVII. S. 235.

**) Dies erhellt theils durch directe Berechnung, theils daraus, daß, wenn man den Coefficienten k aus Weber's Versuchen berechnet, man dadurch auf den Werth 1,372, welcher mit 1,375 wirklich übereinstimmt, zurückgeführt wird, da doch dieser Coefficient = 1,421 angenommen werden muß, wenn die berechnete Schallgeschwindigkeit der wirklichen gleich gefunden werden soll.

bestimmen, noch die, die Zunge derselben betreffenden, Verhältnisse kennen, wo sich dann, Weber's Herleitung zu Folge *) $\Omega$ nach folgender Formel ergibt:

$$\Omega = 2 l n' + \frac{2 a k n'}{\pi (n^2 + n'^2)}$$

in welcher Formel n die Zahl der Schwingungen der isolirten Platte oder Zunge, n' die Zahl der Schwingungen der Zungenpfeife (der Zunge und Röhre in Verb.) l die Länge der Zungenpfeife, k = 1,375 nach Gay-Lussac und Welter, a eine, der Größe der Platte direct, ihrem Gewicht und dem Querschnitt der Röhre umgekehrt proportionale Größe, deren nähere Bestimmung bei den über die Zungenpfeifen zu gebenden Formeln folgen wird, ist. Die Übereinstimmung dieser Formeln mit der Erfahrung wird sich durch folgende Vergleichung ergeben.

Für die erste Formel **). Bei einer gegebenen Zungenpfeife fand sich (die Temperatur des Versuchs ist nicht angegeben)

$$l' = 225{,}2 \text{ Lin.}$$
$$n' = 680{,}0 \text{ in der Sec. ***)}$$

Mithin $\Omega = l'n' = 1063{,}5$ Fuß (= 345,3 Meter) in der Sec.

Für die zweite Formel ****). Die Data der Versuche waren folgende:

Temperatur der Luft in der Pfeife 22° R.; Länge = 14,058 Linien; Breite = 3,0 Lin.; Dicke = 0,337 Lin. der eisernen Platte (Zunge) der Zungenpfeife, welche allein schwingend 1140 Schwingungen in 1 Sec. machte. Weite der cylindrischen Luftsäule = 4,3 Lin.

Folgendes ist eine Zusammenstellung der hiermit erhaltenen Resultate:

| Länge der Zungenpfeife = l | Zahl der von der Zungenpfeife ausgehend. Schallwelle = n' | Geschwindigkeit des Schalls nach der Formel $\Omega = 2 l n'$ berechnet | Geschwindigkeit d. Schalls nach d. genauern Formel berechnet. | Geschwindigkeit d. Schalls nach Laplace's Theorie †) | Differenzen |
|---|---|---|---|---|---|
| Linien | | Fuß | Fuß | Fuß | Fuß |
| 110,0 | 676,0 | 1032,7 | 1065,7 | 1066,3 | — 0,6 |
| 122,0 | 608,0 | 1030,4 | 1057,4 | 1066,3 | — 8,9 |
| 128,0 | 583,0 | 1036,6 | 1061,7 | 1066,3 | — 4,6 |

*) Pogg. XVII. S. 237.

**) Pogg. XVII. S. 247.

***) Nach folgenden Datis:

| Schwingungszahl der Zungenpfeife. | ganze Länge der Zungenpfeife. |
|---|---|
| 721,9 | 97,6 Linien |
| 681,5 | 103,4 |
| 670,5 | 109,6 |
| 700,0 | 310,5 |
| 679,4 | 329,0 |
| 638,3 | 348,4 |

****) Pogg. XVI. S. 202. XVII. S. 237.

†) Hier ist die Geschwindigkeit nach der Formel auf S. 244 für k = 1,375

Versuche über Schallgeschwindigkeit in der Luft bei großer Kälte. Capitain Parry und Lieutenant Forster *) haben im J. 1824 und 1825 zu Port-Bowen Versuche über die Schallgeschwindigkeit durch Abschießen eines Sechspfünders angestellt, welche dadurch bemerkenswerth sind, daß sie bei sehr niederer Temperatur angestellt wurden. Die Bestimmung geschah an beiden Enden **) einer Linie, welche 12892,89 engl. Fuß maß. Als Mittel der Beobachtungen (mit Weglassung der letzten Beobachtung in nachfolgender Tabelle, wo ein starker Wind Statt fand) ergab sich eine Geschwindigkeit von 1035,19 engl. Fuß (in der Secunde) bei — 17°,72 F. (— 27°,62 C.) und 29,936 engl. Zoll Barometerstand. (Der Feuchtigkeitszustand ward nicht bestimmt). Diese Geschwindigkeit beträgt 33,27 Fuß mehr als sie nach Laplace's Formel betragen sollte.

| Barometerstand in engl. Zollen | Temperatur Fahrenheit | Zahl der Schüsse | Mittleres Intervall von beiden Stationen | Geschwindigkeit in engl. Fußen |
|---|---|---|---|---|
| 29,841 | — 7° | 5 | 12,3912 | 1040,49 |
| 29,561 | — 9° | 6 | 12,4288 | 1037,34 |
| 30,268 | — 37° | 4 | 12,529 | 1029,01 |
| 29,647 | — 24°,5 | 6 | 12,6278 | 1020,99 |
| 29,598 | — 18° | 6 | 12,406 | 1039,25 |
| 29,785 | — 37°,5 | 6 | 12,7617 | 1010,28 |
| 30,398 | — 38°,5 | 6 | 12,71 | 1014,39 |
| 30,258 | — 21,5 | 6 | 12,5583 | 1026,64 |
| 30,118 | + 33,5 | 6 | 11,7387 | 1098,32 |
| 30,102 | + 35 | 6 | 11,5311 | 1118,10 |

Geschwindigkeit des Schalls in verschiedenen Gasarten. Dulong hat mittelst tönender Labialpfeifen nach dem S. 247 angegebenen Verfahren folgende Werthe der Geschwindigkeit des Schalls in verschiedenen Gasarten für den Zustand der Trockenheit und bei 0° C. gefunden:

berechnet. Die wirkliche Schallgeschwindigkeit jedoch würde sich, wenn man sie zu 333 Meter für 0° annimmt, bei 22° R. ergeben = 349,7 Meter = 1076,4 Fuß. Wollte man auch die Correction für k = 1,421 berechnen, so würde man doch nur z. B. statt 1065,7 Fuß erhalten 1066,7 Fuß.

*) Jameson's Edinb. N. phil. J. Oct. 1828 — march. 1829. p. 26.

**) So daß der Einfluß der Luftbewegung durch Ziehung des Mittels beseitigt werde.

| Name und specif. Gewicht der Gasart | Schallgeschwindigkeit in 1 Sec. in der trocknen Gasart bei 0° C., in Metern |
|---|---|
| Atmosphärische Luft 1 | 333 |
| Sauerstoffgas, 1,1026 | 317,17 |
| Wasserstoffgas, 0,0688 | 1269,5 |
| kohlens. Gas, 1,524 | 261,6 |
| Kohlenoxydgas, 0,974 | 337,4 |
| Stickstoffoxydgas, 1,527 | 261,9 |
| Ölbildendes Gas, 0,981 | 314 |

Diese Resultate verdienen allem Anschein nach mehr Zutrauen, als die, auf ähnlichem Wege gefundenen früheren, welche Chladni und Jacquin *), Kerbi und Merrick **), Benzenberg ***), Richard van Rees bekannt gemacht haben, theils weil nicht nur Dulong alle Sorgfalt darauf wandte, die Gasarten rein von Feuchtigkeit und andren Beimischungen anzuwenden, was nicht immer von frühern Beobachtern geschehen ist, theils weil er sich zur Bestimmung der Schwingungszahl der Vergleichung der Tonhöhe mit der Tonhöhe einer Sirene bediente, welche eine größere Genauigkeit in diesem Bezuge zuläßt, als das meist von frühern Beobachtern angewandte Monochord.

Vor allem beim Wasserstoffgase weichen die Resultate Dulong's von denen der frühern Beobachter ab, was unstreitig daher rührt, daß bei der geringen Dichtigkeit dieses Gases die Fehler, die von der zufälligen Beimengung eines andern Gases oder eines Dampfs entstehen, sehr leicht einen großen Einfluß äußern. Mit aller der zu seiner Reinheit nöthigen Sorgfalt bereitet, giebt es einen fast um zwei Octaven höhern Ton als Sauerstoffgas, während Chladni fast niemals mehr als eine Octave und eine kleine Terz, zuweilen nur eine Octave gefunden hatte; auch die von v. Rees gefundene Zahl ist, obgleich weniger unrichtig, doch um $\frac{1}{5}$ kleiner als der Fall seyn müßte, wenn man den Werth von k in der Formel S. 244 = 1 setzte, so daß hier k einen kleinern Werth als 1 haben müßte, welches der Natur der Sache nach unmöglich ist.

---

## II. Erregung, Messung und Anwendung vergleichbarer Töne.

Neues Mittel, vergleichbare Töne zu erzeugen, (Drehung gezähnter Räder), von Savart ****). Das nachfolgende

*) Chladni's Akustik. S. 226.
**) Nicholson J. XXVII. S. 269 und XXXIII. S. 161 (Gilb. XXXIX. 438).
***) Gilb. Ann. XLII.
****) Ann. de Ch. et de Ph. XLIV. 337 oder Pogg. Ann. XX. 294.

Verfahren gründet sich auf das bekannte Princip, welches der Construction der sogenannten Sirene zu Grunde liegt, zufolge dessen eine schnelle Aufeinanderfolge periodisch wiederkehrender Schläge fähig ist, einen Ton zu erzeugen, dessen Höhe im geraden Verhältniß der Schnelligkeit der Aufeinanderfolge steht, wobei indeß zu bemerken ist, daß bei Vergleichung mit Tönen durch Schwingung der Schlag mit der ihm folgenden Stille zusammen als eine Doppelschwingung gerechnet werden müsse.

Das neue Mittel, welches Savart in diesem Bezug anwendet, und zu physikalischen Bestimmungen benutzt hat (s. weiterhin), besteht in einem mehr oder weniger schnell gedrehten Rade, versehen am Umfange mit einer zweckmäßigen Zahl von Zähnen, die nach einander gegen einen auf einer Unterlage befestigten (oder auch nur mit der Hand gehaltenen) dünnen Körper schlagen, z. B. gegen eine Karte oder ein zugeschärftes Blatt von leichtem Holze. (Die nähere Anordnung ist nicht beschrieben). Die Höhe der Töne, die hierdurch bei Umdrehen des Rades entstehen, steht, wie sich Savart überzeugt hat, in genauem Verhältniß der Schnelligkeit der Umdrehung und die Zahl der hierbei erfolgenden Schläge ist genau so groß, als die der Doppelschwingungen einer mit dem Rade im Einklang tönenden Saite. Je größer der Durchmesser des Rades bei gleicher Anzahl von Zähnen ist, desto größer ist die Stärke des resultirenden Tones.

Auch dadurch, daß man senkrecht gegen die Ebene des Rades durch eine Röhre von etwas kleinem Durchmesser einen Luftstrom gegen die Zähne des sich drehenden Rades treibt, kann man Töne hervorbringen, welche bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit sich in Einklang mit den durch den Anschlag an das Blatt erzeugten, zeigen.

Savart stellte seine Versuche mit drei messingenen Stäben an: 1) von 24 Centimetern Durchm. und 360 Zähnen im Umfange; 2) von 48 Cent. Durchmesser und 400 Zähnen; 3) von 82 Cent. Durchmesser und 720 Zähnen. Um bei dem letzten großen Rade die Zahl der Schläge für große Geschwindigkeiten, wo die Tonhöhe nicht mehr direkt zur Bestimmung führen kann, zu bestimmen, brachte Savart anfangs an der Axe des Rades einen Zähler an, doch gestattet dies Mittel keine leichte Anwendung, sobald die Geschwindigkeit der Umdrehung sehr groß wird. Er zog es daher später vor, die Zahl der Umläufe durch den Ton eines zweiten gezähnten Rades zu bestimmen, welches einen kleinern Durchmesser besaß, und eine dreißig- bis vierzigmal geringere Zahl von Zähnen, als das große Rad, auf seinem Umfang trug. Da der Ton dieses zweiten Rades viel tiefer war, so konnte man ihn leicht mit dem Monochord in Einklang bringen, und die Anzahl der erzeugten Schwingungen berechnen, aus der sich dann leicht die Anzahl der Umläufe des Rades ergab.

Über die Gränze der mittelst dieses Verfahrens noch hörbaren Töne wird später Näheres mitgetheilt werden.

Savart erinnert, daß die Töne, welche sich solchergestalt mit gezähnten Rädern hervorbringen lassen, mit Vortheil angewandt werden können,

um bei vielen Maschinen die Zahl der Umläufe der Axen zu bestimmen und sich von der Gleichförmigkeit ihrer Umdrehung zu überzeugen.

Verfahren, auf einer Violinsaite von gleichbleibender Spannung durch Streichen Töne von mannichfaltiger Höhe (Äolsharfentöne) hervorzubringen, von Pelissov *). Dies Verfahren beruht darauf, daß die Saite eine rasche Aufeinanderfolge kleiner Stöße empfängt, durch welche blos Molecularschwingungen derselben, nicht aber Schwingungen der ganzen Saite oder ihrer aliquoten Theile hervorgerufen werden. Dies gelingt am besten, wenn der Ungeübte den Bogen dicht am Stege einer etwa zwei Schuh langen, ⅓ Lin. dicken, ins g gestimmten, (Violin-) Saite aufsetzt und so leicht als möglich **) und in einem immer gleichen Zuge zu streichen anfängt. Der erscheinende Ton richtet sich dann ganz nach der Stärke oder Schnelligkeit des Striches und man kann alle Töne, welche eine Saite mittelst des Windes giebt (Äolsharfentöne) und noch die meisten dazwischen und höher liegenden Töne auf diese Art sehr leicht erhalten. Wenn man den Bogen beim Frosche aufsetzt, und so im raschen Zuge bis an seine Spitze über die Saite führt, so wirkt der Bogen als ein immer kürzer werdender Hebel der ersten Art, und nach Maßgabe seines immer schwächer werdenden Druckes (der indeß in seinem höchsten Grade sehr leicht seyn, und mit der Hand regulirt werden muß) erscheinen alle harmonischen Töne von ihrer größten Höhe, bis zur möglichsten Tiefe, und man hat sogar alle möglichen Töne so sehr im Bogen, daß man bei hinlänglicher Fertigkeit auf einer stets gleich langen Saite bei unveränderter Spannung sogar nicht unangenehme Melodien spielen kann. — Die Schwingungen jener Molecule, welche der Bogen unmittelbar berührt, laufen dabei in dem nämlichen Zeitraume, in welchem die Saite eine Schwingung vollbringen würde, an's entgegengesetzte Ende der Saite, und werden dort reflectirt, so daß es scheint, als entstünde der Ton an dem, dem gestrichenen entgegengesetzten, Ende der Saite.

Hat man aber die Führung des Bogens einmal in seiner Gewalt, so wird man staunen, welch' eine reizende Folge von Tönen auf einer einzigen Saite hervorgebracht werden kann. Die Töne sind auf diese Art denen der Äolsharfe so täuschend ähnlich, daß sie durch das Gehör nicht von einander unterschieden werden können.

Läßt man mit dem Äolstone den Grundton der Saite zugleich ertönen, so gelingt es oft, eine Folge von Accorden hervorzubringen, die, wenn sie mit den einfachen Flötentönen in Verbindung gebracht werden, einen so eigenthümlichen Effect hervorbringen, daß man bald eine leise Flötenmelodie, bald fernes Glockengeläute, bald Harmonieen einer entfernten Orgel zu hören glaubt.

*) Pogg. Ann. XIX. S. 251.

**) Wenn der Grundton der Saite allein oder mit einem der Äolstöne zugleich gehört wird, war der Druck des Bogens schon zu stark.

Welch' bedeutenden Einfluß die Art des Striches auf Saiteninstrumenten habe, kann man daraus ersehen, wenn man statt der Pferdehaare eine gewöhnliche Violinsaite in den Bogen spannt, diese gleich den Pferdehaaren mit Kolophonium bestreicht, und sich derselben statt des gewöhnlichen Streichinstruments bedient. Der Ton, der auf diese Art der tongebenden Saite entlockt wird, richtet sich bei gehöriger Vorsicht nach dem Grade der Spannung der in den Bogen gespannten Saite, was schon Young (Gilb. Ann. XXII. S. 373) bemerkt hat.

Hinsichtlich der der Entstehungsart vorerwähnter Töne vgl. S. 256 ff.

Erregung von Tönen durch Temperaturänderungen*). Eine eigenthümliche Art, Töne zu erregen, welche von der Zusammenziehung, die ein erhitztes Metall bei Berührung mit einem kalten erfährt, abzuhängen scheint, hat Trevelyan bemerkt. Seine Versuche werden folgendergestalt beschrieben: Wenn eine eiserne oder messingene Stange, z. B. ein gewöhnlicher Schürstab, im Feuer erhitzt und dann auf einen Fußboden oder einen Tisch so gelegt wird, daß das erhitzte Ende auf den Rand eines Stücks Blei von 2 bis 3 Zoll ins Gevierte und einem Zoll Stärke, der runde Knopf des Griffes aber auf dem Boden oder Tische ruht, und man das Instrument hierauf öfters aufhebt und niederlegt, um die günstigste Lage desselben zu ermitteln, es dabei auch ein wenig hin- und her wiegt, um es in Gang zu bringen, so schwingt dasselbe lange Zeit fort und läßt dabei einen Ton hören, dessen Klang und Stärke sich nach Beschaffenheit der Unterlage richtet. Um aber die Wirkung sicherer und deutlicher hervorzubringen, ließ Trevelyan fußlange messingene oder eiserne Stäbe eigens verfertigen**); 2 bis auf 5 — 4 Zoll von einem Ende aus gerechnet, ist der Stab breit und platt, und auf der untern Seite mit einer der Länge nach laufenden Ribbe versehen, auf welcher er leicht auf- und niederschwingen kann. Dieser Theil ist etwa 1½ Zoll breit, und an der Ribbe ½ Zoll stark; der Rest der Stange wird in einen runden Griff von etwa ½ Zoll Durchmesser gearbeitet. Wenn das abgeplattete Ende dieser Stange erhitzt und mit der Ribbe auf ein ebenes Stück Bley gelegt wird, das 1 bis 2 Zoll dick ist und mehrere Zoll ins Gevierte hält, so setzt sich der Stab sogleich von selbst in eine sanfte wiegende Bewegung, welche sich bis zu einem gewissen Umfange steigert und dann lange Zeit regelmäßig fortdauert. Wenn ein Messingstab von 10 bis 12 Zoll Länge quer über den andern gelegt wird, so schwingt auch er und zeigt die Wirkung noch deutlicher. Legt man den Stab statt auf den oberen Theil des Bleyes, auf die Kante desselben und das andere Ende auf den Tisch, so ist keine Schwingung bemerkbar, jedoch läßt der Apparat einen lauten Ton vernehmen, welcher lange Zeit hörbar bleibt. Drückt man mit dem Finger auf den Tisch oder

*) Edinb. Courant vom 26. Febr. 1831; Fror. Not. Nr. 11 des XXX. Bandes S. 168.

**) Die folgende Beschreibung der Stäbe (wörtlich nach Froriep's Notizen) verstehe ich nicht recht.

auf das Metall, so verändert sich der Ton und hört zuweilen auf. Ertheilt man dem Tische einen gelinden Stoß, so fängt der Ton wieder an und dauert wie vorher fort. Setzt man den Apparat auf eine hölzerne Schachtel oder auf einen Resonanzboden, so sind die Töne höchst musikalisch.

Chemische Harmonika. Van Mons theilt in einem Briefe an Buchner wörtlich Folgendes mit: „Um zu sehen, welche Wirkung die Verwechselung der Glasröhren mit Röhren aus andern Stoffen in Bezug auf die chemische Harmonika hervorbringen werde, haben wir Röhren von verschiedenen Metallen angewandt; wir erhielten aber nur von den klingenden Metallröhren, nämlich von Zinn, Eisen-Blech, Kupfer, Silber u. s. w. einen Ton, die übrigen nicht klingenden Metalle lieferten uns keinen. Das Zinn giebt einen Orgelton, und somit den Ton einer gedrängten und mit Mühe circulirenden Luft (?), der auf diese Art circulirende Wasserdampf mag wohl die Ursache der gewöhnlichen Erscheinung seyn. Wir haben in diesem Bezuge Versuche mit allen brennbaren Gasen, als mit gekohltem Wasserstoffgase, mit Schwefelwasserstoffgase, Hydrocarbongase und Kohlenoxydgase, das mit Knallluft und mit Stickstoffoxydluft gemischt war, und die einer anhaltenden Verbrennung fähig sind, angestellt: Alle Versuche gelangen, alle gaben eine blaue Flamme, wenn man sie längs des Glases hinstreichen ließ. Das Ausströmen des Gases aus der Leitungsröhre darf nicht zu heftig seyn, damit nicht ein Theil desselben der Verbrennung entgeht; denn in diesem Falle entzieht sich das Kohlenoxyd und die beiden gekohlten Wasserstoffgasarten der Verbrennung und bedecken die innere Fläche der Glasröhre mit Schweiß. Findet man in der Röhre eine Stelle, wo der Ton anfängt, so muß man an dieser einige Zeit anhalten und nur langsam herabsteigen. Der Ton der chemischen Harmonika muß, wie jede andere Wirkung, wenn sie fortdauern soll, steigen; ist er einmal im Gange, so hält er dann aus. Sobald die Flamme sich verlängert, beginnt das Tönen. In dem Maße, als man die Röhre absteigen oder aufsteigen läßt, steigt und fällt auch der Ton. Ich versichere Sie, daß, wenn man sich auf diese Weise mit Röhren von verzinntem und unverzinnten Eisenbleche (der Ton von beiden ist sehr verschieden), von Orgelmetall und dgl. von verschiedener Länge, Dicke und Lumen übte, man es dahin bringen könnte, eine Art ziemlich harmonischer Musik hervorzubringen. Zu Lüttich macht man ein sehr hellklingendes Glas, von welchem Röhren in verschiedenem Durchmesser einen sehr reinen und starken Ton geben. Die Glasröhren zu den Argandischen Lampen liefern oft auch einen guten Ton."

Stark klingende Legirungen. Kastner**) theilt folgende drei Legirungsverhältnisse als leicht ausführbar und wohlfeil mit, um dem Zinn neben erhöhter Härte und Weiße ein gesteigertes Klangvermögen zu ertheilen:

*) Buchner's Rep. XXXII. S. 421.

**) Kastn. N. Arch I. S. 421.

1) 256 Zinn, 2 Wismuth, 2 Antimon, 3 Eisenfeilstaub. Matt (kaum graulich) weiß, hoher Politur fähig, ziemlich luftbeständig. Der Klang *) etwas schnarrend, mehr als die folgenden den Klängen der Saiteninstrumente sich nähernd, einen tiefern Ton entwickelnd als die folgenden.

2) 100 Zinn, $2\frac{1}{8}$ Kupfer, $\frac{5}{8}$ Wismuth, bläulich weiß, luftbeständig, polirt lebhaft glänzend. Der Klang voll, nicht schnarrend, dem Glasklange sich nähernd, sehr rein.

3) 7 Zinn und 1 eisenfreies Antimon, blauweiß, bei gleicher Abreibung minder glänzend als Nr. 1) und 2), vollkommen luftbeständig. Der Klang die größte Fülle darbietend, den Glasscheibentönen täuschend ähnlich.

Ansicht Pellisov's von der Erregung der Töne **). Die gewöhnliche Ansicht von Entstehung der Töne durch eine schwingende Saite oder Luftsäule ist die, daß der Ton hierbei von der Schnelligkeit, mit welcher die ganze Saite oder Luftsäule oder ihre aliquoten Theile schwingen, abhänge, und daß die Oscillationen der kleinsten Theilchen, aus denen der schwingende Körper besteht, nur insofern hierbei in Betracht kommen, als sie zur Resultante eben die Schwingung des ganzen tönenden Körpers oder seiner aliquoten Theile geben. Pellisov dagegen kehrt diese Ansicht um, indem er behauptet, daß der Ton blos von der Schnelligkeit, mit der die kleinsten Theilchen der Saite oder Luftsäule oscilliren, abhänge, die Schwingung der ganzen Saite oder Luftsäule käme hierbei blos insofern in Betracht, als sie bestimmend für die Schnelligkeit jener Molecularoscillationen wirke, so daß, wenn z. B. eine Saite ganz oder aliquoten Theilen nach transversal schwänge, ohne daß doch die einzelnen Molecule innerhalb der Saite Schwingungen machten, kein Ton entstehen würde. Diese Ansicht sucht Pellisov namentlich durch folgende Erörterungen zu erläutern und zu bestätigen, und wendet sie auf die Erklärung nicht nur der S. 253 erzählten, sondern auch der Äolsharfentöne an.

Molecularschwingungen eines Körpers lassen sich nach Pellisov dadurch hervorbringen, daß man irgend einem beliebigen Theile desselben oder dem ganzen Körper zugleich eine Reihe schnell aufeinander folgender Stöße mittheilt und die Schnelligkeit dieser Molecularschwingungen steht mit der schnellen Folge der erregenden Stöße immer in geradem Verhältnisse. Hat man eine Saite ganz oder ihren aliquoten Theilen nach in transversale Schwingungen versetzt, so wirken hier die Transversalschwingungen selbst als eben so viel Stöße, vermöge des wechselseitigen Zusammendrückens und Ausdehnens der kleinsten Theilchen, und deshalb behält eine transversal schwingende Saite immer denselben Ton, so lange die Schnelligkeit ihrer Schwingungen

*) Bei einer kreisrunden Scheibe von $3\frac{1}{4}$ rh. Zoll Durchmesser und $\frac{1}{2}$ Lin. Dicke, eben so bei den andern Legirungen.

**) Pogg. Ann. XIX. S. 237.

sich gleich bleibt, weil hierdurch zugleich die Schnelligkeit ihrer Molecularoscillationen bestimmt wird.

In der That, wenn man einer Saite durch das Verfahren, was S. 256 näher beschrieben ist, blos kleine Stöße mittheilt, ohne daß sie dadurch in ihrer ganzen Länge in Schwingung versetzt wird, so vermag sie je nach der Schnelligkeit dieser Stöße auch Töne von höchster Mannichfaltigkeit zu geben, welche auf keine Weise mit einer Entstehung derselben aus Schwingungen der ganzen Saite oder ihrer aliquoten Theile vereinbar sind, und eben so widerspricht die Reihenfolge der Töne, welche eine im Winde erklingende Äolsharfensaite zu geben vermag, und die mit der vorigen auffallend übereinstimmt, einer solchen Erklärbarkeit aus Schwingungen aliquoter Theile der Saite, indem der Wind auch hier nur dadurch wirkt, daß er der Saite kleine schnell aufeinander folgende Stöße ertheilt (S. 253).

Pellisow wendet diese Ansicht auch auf Blasinstrumente an und setzt sie noch mit mehrern andern Umständen in Verbindung, welche die Schwingungen von Saiten oder starren Stäben betreffen, worüber wir auf die Originalabhandlung verweisen. Er verspricht dieselbe der Rechnung zu unterwerfen und dadurch ihre Triftigkeit noch näher zu erweisen.

Über Combinationstöne oder Tartinische Töne von Blein *). Die Schwingungszahl des Tartinischen Tons, der zwei zusammenklingende Töne begleitet, ist der Rest, welcher übrig bleibt, wenn man von der Schwingungszahl des höhern Tons die des niedern Tons, so oftmal genommen, als sie ganz in der des höhern enthalten ist, abzieht. Ist z. B. die Schwingungszahl des höhern Tons 400, die des niedern 256 in 1 Sec., so wird die des Tartinischen Tons 144 seyn.

Bestätigungen dieses schon früher bekannten Gesetzes enthalten u. a. die Beobachtungen Blein's, der seine Versuche mit zwei Saiten anstellte, von denen die eine immer den Ton c gab, indem sie 256 Schwingungen in einer Sec. machte, während die andre Saite successiv so gespannt wurde, daß sie nach und nach die in der folgenden Tabelle angeführte Reihe von Tönen gab.

*) Pogg. Ann. XV. S. 216, aus Exposé de quelques principes nouveaux sur l'acoustique et la théorie des vibrations et sur l'application à plusieurs phénomènes de la physique par le Baron Blein. Paris 1827.

| Ton der ersten Saite. | Schwingungen der ersten Saite während 1 Secunde. | Ton der zweiten Saite. | Schwingungen der zweiten Saite während 1 Secunde. | Tartinischer Ton beim Zusammenklingen beider Saiten. | Schwingungen, welche eine Saite in 1 Sec. machen müßte, um denselben Ton hervorzubringen. |
|---|---|---|---|---|---|
| c | 256 | c | 256 | c | 256 |
| c | 256 | c♯ | $266\frac{2}{3}$ | c♭ | $245\frac{1}{3}$ |
| c | 256 | d♭ | $271\frac{1}{15}$ | H | $238\frac{14}{15}$ |
| c | 256 | d | $284\frac{9}{15}$ | B | $227\frac{5}{9}$ |
| c | 256 | d | 288 | A♯ | 224 |
| c | 256 | d♯ | 300 | A | 212 |
| c | 256 | e♭ | $307\frac{1}{5}$ | A♭ | $204\frac{4}{5}$ |
| c | 256 | e | 320 | G | 192 |
| c | 256 | f | $341\frac{1}{3}$ | F | $170\frac{2}{3}$ |
| c | 256 | f♯ | $355\frac{5}{9}$ | E♭ | $156\frac{4}{9}$ |
| c | 256 | | 362 | D♯ | 150 |
| c | 256 | g♭ | $368\frac{16}{25}$ | D | $143\frac{9}{25}$ |
| c | 256 | g | 384 | C | 128 |
| c | 256 | g♯ | 400 | D | 144 |
| c | 256 | a♭ | $409\frac{3}{5}$ | E♭ | $153\frac{3}{5}$ |
| c | 256 | a | $426\frac{2}{3}$ | F | $170\frac{2}{3}$ |
| c | 256 | a♯ | $455\frac{1}{9}$ | G♯ | $199\frac{1}{9}$ |
| c | 256 | b | $460\frac{4}{5}$ | A♭ | $204\frac{4}{5}$ |
| c | 256 | h | 480 | A♯ | 224 |
| c | 256 | c̄♭ | $491\frac{13}{25}$ | B | $235\frac{13}{25}$ |
| c | 256 | c | 512 | c | 256 |

Zuweilen können auch 2 Tartinische Töne unterschieden werden. Die Fälle, wo Blein dies beobachtete, sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

| Ton der ersten Saite. | Schwingungen der ersten Saite während 1 Secunde. | Ton der zweiten Saite. | Schwingungen d. zweiten Saite während 1 Secunde. | Erster Tartinischer Ton beim Zusammenklingen beider Saiten. | Schwingungen, welche eine Saite in 1 Sec. machen müßte, um denselben Ton hervorzubringen. | Zweiter Tartinischer Ton beim Zusammenklingen beider Saiten. | Schwingungen, welche eine Saite in 1 Sec. machen müßte, um denselben Ton hervorzubringen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| c | 256 | f♯ | 362 | D♯ | 150 | Contra A | 106 |
| c | 256 | f♯ | $355\frac{5}{9}$ | E♭ | $156\frac{4}{9}$ | Contra G♯ | $99\frac{5}{9}$ |
| c | 256 | g♭ | $368\frac{16}{25}$ | D | $143\frac{9}{25}$ | Contra A♯ | $112\frac{16}{25}$ |
| c | 256 | d♯ | 300 | A | 212 | 32 Fuß F♯ | 44 |

Weber hat in Pogg. Ann. a. a. O. eine Theorie dieser doppelten Tartini'schen Töne gegeben, mit welcher jedoch die obigen Beobachtungen nicht ganz übereinstimmen, was Weber auf Rechnung der Schwierigkeit schreibt, diese Beobachtungen mit Genauigkeit anzustellen.

Monochord oder Tonmesser von zweckmäßiger Einrichtung, von Weber *). Bei den gewöhnlichen Monochorden bedient man sich zur Abänderung der Länge der Saite meist eines verschiebbaren Steges, der an verschiedenen Punkten der Saite untergestemmt wird. Gegen die Anwendung dieses Mittels macht indeß Weber die Bemerkung, daß man dadurch auf dreifache Weise in Gefahr kommt, einen Fehler zu begehen: 1) weil die Spannung der Saite größer wird, wenn der Steg, nahe am Ende der Saite unter letztere gestemmt, dieselbe hier eben so viel hebt und aus ihrer natürlichen Lage entfernt, als wenn er unter die Mitte der Saite untergestemmt wird, während man doch die Spannung der Saite gleich zu lassen und nur ihre Länge zu verändern beabsichtigt; 2) weil dann die Länge des schwingenden Theils der Saite nicht scharf begränzt wird, denn derjenige Theil der Saite, welcher jenseits der auf den Steg aufdrückenden Stelle der Saite liegt, fährt noch fort, an der Schwingung der Saite einigen Theil zu nehmen; 3) weil die Platte, aus welcher der Steg besteht, sehr geeignet ist, durch die Schwingungen der Saite selbst in Schwingung versetzt zu werden, die Schwingungen ferner auf die Unterlage fortzupflanzen und dadurch in ihr Resonanz zu erregen.

Diesen sämmtlichen Mängeln hat Weber durch eine neue Einrichtung eines verticalen Monochords mit einer eigenthümlichen Befestigungsart der Endpunkte der Saiten abgeholfen, welches Monochord auch mit mehrern parallelen Saiten versehen werden kann, daher eigentlich einen andern Namen als Monochord (Weber schlägt Tonmesser oder Tonwage vor) verdiente. Sowohl für die Akustiker als praktischen Musiker und Instrumentenmacher wird dieses Instrument von großer Nutzbarkeit seyn. Für erstere gewährt es u. a. auch den Vortheil, die Zunahme der Länge einer Saite nach einer Vermehrung des die Saite spannenden Gewichts mit Leichtigkeit und Genauigkeit messen zu können, was für verschiedene physikalische Untersuchungen von Wichtigkeit ist. Da das Detail der Beschreibung dieses Instruments etwas zu viel Raum wegnehmen würde, so verweisen wir hinsichtlich derselben auf die Originalabhandlung.

Über die Anwendbarkeit akustischer Versuche zur Bestimmung mancher Eigenschaften der Körper, von Weber **). Weber macht darauf aufmerksam, daß der Gehörsinn in vielen Fällen, wo es sich um Bestimmung gewisser Eigenschaften und Kräfte der Körper, wie der Cohäsion, Compressibilität, Dilatabilität, Ausdehnung durch die Wärme handelt, an die Stelle des Gesichtssinnes bei der Untersuchung treten kann,

*) Pogg. XV. S. 1.

**) Pogg. XIV. S. 397.

indem er hier oft geeignetere Wege für genaue Messung darbietet, als letzterer.

Wie klein ist z. B. die Verlängerung einer Metallstange, wenn sie sich durch die Wärme ausdehnt und wie schwierig, diese kleine Verlängerung räumlich genau zu messen. Wie groß ist dagegen die Änderung der Tonhöhe einer transversalschwingenden Metallsaite, wenn sie, mit ihren Enden zwischen zwei unveränderlichen Punkten befestigt und ausgespannt, nur die geringste Verlängerung erleidet, weil durch diese Verlängerung die Kraft, durch welche die Saite in der Richtung ihrer Länge gespannt wird, sehr schnell abnimmt.

So wog z. B. bei Weber's Versuchen eine 48 par. Linien lange Eisensaite 0,02473 Gramm. Wird diese Eisensaite mit 144,63 Gramm gespannt, so macht sie 864 Schwingungen in einer Sec. (gibt den Ton $\overline{a}$ wie gewöhnlich die Stimmgabeln der Pianoforte's). Wird diese Eisensaite bei der Spannung von 144,63 Gr. festgeklemmt und so erwärmt, daß sie um den tausendsten Theil einer par. Linie sich ausdehnt, so giebt sie nach Weber einen Ton, der mehr als eine Vierteltonstufe tiefer ist als $\overline{a}$. Ein geübtes Ohr kann aber, unter Zuziehung eines nachher anzugebenden Hülfsmittels, selbst die Wirkung einer Schwingung zu 1000 Schwingungen noch unterscheiden, und folglich den 40sten Theil von jenem Ton entschieden noch wahrnehmen. Um wie viel vortheilhafter ist in diesem Falle der Gebrauch des Ohres, als der des Auges; denn die Messung mittelst des Ohres ist in diesem Falle etwa 40mal feiner als die mittelst des Auges, das, selbst durch das stärkste Mikroskop unterstützt, höchstens bis auf den 1000sten Theil einer Linie sicher ist.

Weber versichert aus Erfahrung, daß das Ohr fein genug empfindet, um unter günstigen Umständen schon unmittelbar die Töne so zu bestimmen, daß der Fehler auf 200 Schwingungen nie mehr als eine Schwingung beträgt. Und so wie man, wenn man das Auge durch einen Nonius oder Vernier, durch den Keil, durch den Fühlhebel und durch die Mikrometerschraube unterstützt, noch weit genauere Messungen mit ihm machen kann als ohne diese Hülfsmittel, so giebt es auch für Bestimmung der Höhe der Töne Methoden, welche auf eine ähnliche Weise die Zählung der Schwingungen durch die Höhe der Töne so vervollkommnen, daß man unter günstigen Umständen auf 1000 Schwingungen nie mehr als eine irrt.

Weber macht zwei dieser Methoden namhaft, die ihm bei seinen Untersuchungen von besonderm Vortheil gewesen. Die erste derselben ist die Beobachtung der sogenannten Schwebungen. Wenn die nicht ganz übereinstimmenden Pendel zweier Uhren neben einander schwingen, so beobachtet man bald Zeiträume, wo die Pendelschläge zweier Uhren zwischen einander fallen, bald Zeiträume, wo die Pendelschläge beider Uhren zusammenfallen, und deswegen einen stärkern Eindruck auf's Ohr machen. Eben so machen von Zeit zu Zeit die Schwingungen zweier neben einander tönenden Körper, bei denen nur ein geringer Unterschied ihrer Tonhöhe Statt findet, auf das

Ohr einen stärkern Eindruck, so oft die Maxima ihrer Schwingungen zusammenfallen, und diese stärkeren Eindrücke auf unser Ohr nennen wir Schwebungen. Diese sogenannten Schwebungen leisten nun für das Ohr dasselbe, was der Vernier bei Längenmessungen und Winkelmessungen leistet. Durch den Vernier wird eine und dieselbe **Linie** zweimal in gleiche Theile getheilt, so daß sie bei der zweiten Theilung eine Unterabtheilung mehr als bei der ersten Abtheilung erhält. Durch die Schwingungen zweier Körper, welche Schwebungen hervorbringen, wird ein und derselbe **Zeitraum** zweifach in gleiche Theile getheilt, so daß die eine Theilung eine Unterabtheilung mehr als die andere erhält. Wie man nun beim Vernier das Zusammenfallen zweier Striche beobachtet, so beobachtet man die Schwebungen als das Zusammenfallen zweier Schwingungen.

Die zweite von **Weber** zur Unterstützung des Ohres bei Vergleichung zweier Töne angewendete Methode gründet sich darauf, daß er den zu bestimmenden Ton auf doppelte Weise mit einem andern Ton in Einklang zu bringen sucht, erst durch Erhöhung, dann durch Vertiefung des zweiten Tons, und auf beiden Seiten die Gränzen bestimmt, wo das Ohr den Unterschied beider Töne wahrzunehmen anfängt.

## III. Resonanz.

### Über resonirende Luftsäulen und Lufträume von Wheatstone *).

Aus den weiterhin anzuführenden Versuchen **Wheatstone's** gehen folgende Ergebnisse hervor:

1) Nicht nur vermag a) der Ton einer Stimmgabel durch Resonanz oder Mittönen einer isochronisch schwingenden Luftsäule verstärkt zu werden, sondern auch b) der Ton einer Luftsäule kann selbst wieder den Ton eines Blasinstruments verstärken.

2) Eine durch Mittheilung schwingende Luftsäule braucht nicht immer isochronisch mit dem selbsttönenden Körper zu schwingen, sondern die Zahl ihrer Schwingungen kann auch ein Multiplum von der Zahl der Schwingungen des selbsttönenden Körpers seyn.

3) Das Umgekehrte des vorigen Satzes findet nicht Statt, d. h., wenn die Zahl der Schwingungen einer Luftsäule ein Aliquotum von der Zahl der Schwingungen des selbsttönenden Körpers ist, so zeigt sich keine Resonanz.

4) Eine und dieselbe Luftsäule kann Töne von verschiedener Höhe gleichzeitig verstärken.

5) Nach diesen Sätzen erklärt sich die Wirkungsart einiger musikalischen

*) Quaterly Journ. of Sc. New Series. No. V. Jan. — Apr. 1828. 175 oder Schweigg. J. LIII. 327.

Instrumente, namentlich des Javanesischen Gönder und der sogenannten Maultrommel.

Zu 1). a. Werden die Zinken einer tönenden Stimmgabel dicht vor das Mundloch einer Flöte gebracht, deren Seitenlöcher so verschlossen werden, daß sie denselben Ton als die Stimmgabel geben kann: so wird der schwache und kaum hörbare Ton der Stimmgabel durch eine volle Resonanz der Luftsäule in der Flöte verstärkt. Verschließt oder öffnet man aber noch eine andre Seitenöffnung, so nimmt wieder die Stärke des Tones ab. Dieser Versuch gelingt leicht mit einer Concertflöte, und einer den Ton „zweigestrichen c" gebenden Stimmgabel. Zu bemerken ist, daß man beim Blasen einer Flöte das Mundloch zum Theil verdeckt, wodurch der Ton ungefähr eine halbe Stufe tiefer wird, als wenn die Flöte bei ganz geöffnetem Mundloche in Schwingung gebracht würde. Nun muß die Flöte, auf die letztere Weise tönend, mit der Stimmgabel im Einklang seyn, und es ist daher nöthig, statt „zweigestrichen c" auf der Flöte „eingestrichen h" zu greifen. Statt der Luftsäule in der Flöte kann man auch den vom Munde eingeschlossenen Luftraum anwenden, wenn man ihm das passende Volumen giebt. Der Ton der Stimmgabel scheint dann am meisten verstärkt zu werden, wenn man die Zunge und übrigen Sprachorgane in eine solche Stellung bringt, als wollte man den Nasenlaut ng fortwährend singen, und dabei die Öffnung der Lippen so lange ändert, bis der Ton am stärksten ist.

b. Man lege zwei Concertflöten auf eine Tafel und parallel dicht neben einander. Auf der einen Flöte blase man stark das zweigestrichene c, wobei alle Seitenlöcher offen stehen; die andere Flöte greife man so, daß sie eine halbe Stufe tiefer tönt (welches Intervall so viel beträgt, als die Vertiefung bei der ersteren Flöte durch theilweise Verdeckung des Mundlochs mit der Lippe): so bemerkt man einen wesentlichen Unterschied in der Stärke des Tones, je nachdem man das erste Loch der andern Flöte öffnet oder verschließt.

Zu 2). Wheatstone nahm eine an einem Ende durch einen beweglichen Stempel verschlossene Röhre und hielt die Zinke einer schwingenden Stimmgabel, welche das zweigestrichene c gab, vor ihr offenes Ende. Die Länge der Luftsäule war 6 Zoll. Wurde die Länge der Luftsäule auf 3 Zoll vermindert, so wurde der Ton der Stimmgabel nicht mehr verstärkt, sondern die höhere Octave desselben (der Ton der Luftsäule selbst, wenn sie unmittelbar in Schwingung versetzt wurde) hervorgebracht.

Wheatstone befestigte eine Maultrommel mit den beiden Enden, die gewöhnlich fest an den Zähnen anliegen, doch so, daß die Zunge hinreichenden Raum zu den freiesten Schwingungen hatte, und bewirkte durch Ankleben von etwas Wachs an ihr freies Ende, daß ihr Ton gerade groß C war; welcher Ton von einer am einen Ende verschlossenen, 4 Fuß langen, Röhre hervorgebracht werden kann. Nun brachte er das offene Ende einer 2 Fuß langen, 1 Zoll weiten, am andern Ende durch einen bewegli-

chen Stempel verschlossenen Röhre nahe an die Zunge, so daß die Luftsäule beliebig verkürzt werden konnte. Wurde dann die Zunge angeschlagen, so wurde die Octave ihres Grundtons gehört. Wurde die Luftsäule noch mehr verkürzt, so daß sie nur den dritten, vierten, fünften, sechsten, siebenten Theil u. s. w. von 4 Fuß betrug, so wurden nach und nach alle Töne der Reihe von Schwingungszahlen

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. |
| C | c | g | $\overline{c}$ | $\overline{e}$ | $\overline{g}$ | $\overline{b}$ |

hervorgebracht. Ist die Länge der Röhre genau eine von den angeführten Längen, so ist der Ton am stärksten, doch hört man ihn auch noch, und zwar von ungeänderter Höhe, aber schwächer, wenn die Luftsäule innerhalb gewisser Gränzen verlängert oder verkürzt wird.

Zu 3). Es sey eine, an einem Ende verschlossene, Röhre doppelt so lang als in dem Falle, wo sie mit der Stimmgabel im Einklang ist. Wenn die in ihr enthaltene Luftsäule unmittelbar in Schwingung versetzt würde, so würde sie um eine Octave tiefer tönen, als die Stimmgabel; hält man aber die Stimmgabel vor ihr offenes Ende, so resonirt dieser tiefere Ton nicht, aber auch kein anderer, weil die Röhre die nächst höhere Octave (den Ton der Stimmgabel) nicht hervorbringen kann, weil sie an einem Ende verschlossen ist.

Zu 4). Wenn zwei Körper zusammen nicht ganz im Einklange tönen, so entstehen periodische Pulsationen, Interferenzen der Schallwellen oder Schwebungen. Diese Schwebungen werden außerordentlich deutlich, wenn man zwei nicht ganz im Einklange befindliche Stimmgabeln vor das offene Ende einer Luftsäule hält, ein Beweis, daß eine und dieselbe Luftsäule Töne von verschiedener Höhe verstärken kann.

Zu 5). Vgl. musikalische Instrumente.

### Über Hörbarmachung weit fortgeleiteter Töne durch Resonanz, von Wheatstone *).

Wheatstone hat hierüber folgende Versuche angestellt:

1) Er setzte an die Stelle des Steges bei einem, mit einem Resonanzboden versehenen, Instrumente einen 5 Fuß langen Glasstab und fand, daß der Ton einer isolirten Saite oder Stimmgabel, die man an das Ende des Glasstabes hielt, eben so deutlich gehört (d. h. eben so sehr durch Resonanz verstärkt) wurde, als ob sich der tönende Körper mit dem Klangbrete in unmittelbarer Berührung befände.

2) Ein analoger Versuch wurde in Wheatstone's Auditorium mit einer 40 Fuß langen Stange von Tannenholz angestellt, die sich von der Kuppel des Dachs bis auf den Boden des Zimmers erstreckte. Während man an das untere Ende der Stange keinen Resonanzboden hielt, war auch kein Ton der Stimmgabel (die sich unstreitig am obern Ende be-

*) Fror. Not. Nr. 9 des XXVII. Bandes S. 129.

fand) hörbar; allein, sobald diese Verbindung eintrat, vernahm man ihn sehr stark.

3) Das Klangbret einer im Auditorium befindlichen Harfe wurde mittelst eines dünnen Stabes von Tannenholz mit dem Resonanzboden eines in dem, eine Treppe tiefer befindlichen, Zimmer stehenden Fortepiano's in Verbindung gebracht, wo dann das Spiel des letztern sich dem ersten Instrumente auf die allervollkommenste Weise mittheilte. Nach unterbrochener Communication war von den fortgepflanzten Tönen nichts mehr hörbar. Die Fortpflanzung der Töne anderer Saiteninstrumente, z. B. der Harfe, Violine, des Violoncells u. s. w. fand ebenfalls sehr präcis Statt.

---

## IV. Über die Schwingungsgesetze elastischer Saiten, Stäbe, Membranen, Platten, Kugeln.

Die Probleme, welche die Schwingungsgesetze dieser Körper betreffen, sind zwar zum Theil schon früher von mehrern Mathematikern behandelt worden, jedoch in minderer Ausdehnung als neuerdings von Poisson und Cauchy *), von deren Leistungen über diese Gegenstände im Allgemeinen wir schon gesprochen haben. Die Resultate der letztern, die übrigens mit den früher erhaltenen übereintreffen, soweit sie dieselben Punkte berühren, sollen hier im Zusammenhange mitgetheilt werden; und zwar werde ich diese Resultate jedesmal zuerst anführen, so weit sie sich bequem ohne Hülfe mathematischer Zeichen ausdrücken lassen, dann die darauf bezüglichen Formeln, endlich die Erfahrungsbelege, in wiefern solche vorhanden sind, dafür mittheilen.

Diese Resultate gelten im Allgemeinen nur für kleine Schwingungen, wie es die Schallschwingungen der Körper sind, unter Vernachlässigung von äußerm Druck und beschleunigenden Kräften, welche auf die schwingenden Körper etwa wirken, und unter Voraussetzung, daß die Anfangsgeschwindigkeit dieser Körper null ist. Die Körper selbst werden stets von homogener Beschaffenheit und gleichförmiger Temperatur vorausgesetzt, doch wird auch der Fall einer aus zwei verschiedenen Theilen bestehenden Saite mit betrachtet werden. Die betrachteten Stäbe werden als sehr dünn in Verhältniß zu ihrer Länge und die Membranen und Platten als sehr dünn zu ihren Länge- und Breite-Dimensionen vorausgesetzt; doch können bei den transversalen und longitudinalen Schwingungen die Stäbe beliebig breit seyn; und zwar bei den transversalen Schwingungen beliebig breit nach der Richtung, welche senkrecht auf der Ebene der Schwingungen ist. (Cauchy

*) Mém. de l'Acad. 1829. T. VIII. p. 357 (Auszug einiger Resultate in Pogg. XIII. S. 383); über die Schwingungen einer aus zwei verschiedenen Theilen bestehenden Saite im Journ. de l'école polyt. Cah. XVIII. p. 442. Cauchy in s. Ex. de Math. III. und IV.

Ex. III. 245.) Die Saiten und Membranen werden als vollkommen biegsam angenommen. Die Spannung der Membranen wird als durch eine Kraft bewirkt angenommen, welche in der Richtung der Ebene der Membran gleichförmig und senkrecht auf ihren ganzen Umfang wirkt. Es ist ferner im Folgenden nur von den regelmäßigen Schwingungen der Körper die Rede, d. h. solchen, welche Töne von einer vergleichbaren Höhe zur Folge haben; wiewohl dieselben Körper mit Ausnahme der homogenen Saiten auch in andern Fällen, je nachdem sie erschüttert werden, statt regelmäßiger Töne ein blos verworrenes Geräusch hören lassen können.

Bedeutung der Buchstaben in nachfolgenden Formeln:

N die Anzahl longitudinaler Schwingungen, die ein an beiden Enden freier oder an beiden Enden befestigter Stab von der Länge a oder eine dergleichen Saite in der Zeiteinheit vollbringt.

$N_1$, $N_2$, $N_3$ die Zahl N für den Grundton, zweiten Ton, dritten Ton u. s. f.

N′ die Zahl der transversalen Schwingungen, die eine Saite oder ein Stab von der Länge a in der Zeiteinheit vollbringt *).

$N'_1$, $N'_2$, $N'_3$ die Zahl N′ für den Grundton, zweiten Ton, dritten Ton u. s. f.

N″, $N''_1$, $N''_2$ u. s. f. gelten eben so für drehende Schwingungen eines Stabes.

M die Zahl der longitudinalen Schwingungen von Membranen oder Platten in der Zeiteinheit.

M′ die Zahl der transversalen Schwingungen von Membranen oder Platten in der Zeiteinheit.

$M_1$, $M_2$, $M'_1$, $M'_2$ u. s. f. die Werthe von M und M′ respectiv für den Grundton und zweiten Ton.

𝔑 die Anzahl der Schwingungen einer Kugel in der Zeiteinheit.

n eine Zahl, die alle mögliche Werthe von 1 bis ins Unendliche annehmen kann, und die für den Grundton = 1 gesetzt wird, für den zweiten Ton = 2 u. s. f. Mithin entspricht n = 1 immer den Werthen N = $N_1$, N′ = $N'_1$ u. s. f.

m eine andre Zahl, die alle mögliche Werthe von 1 an bis ins Unendliche machen kann.

$\varrho = \frac{p}{g}$ Dichtigkeit des Stabes, der Saite, Membran u. s. f.

p das Gewicht eines Stücks des Stabes, der Saite u. s. w. von der Größe der Volumeneinheit (Cubikeinheit).

g das Maß der Schwerkraft, für metrische Einheit = 9,8088.

*) N′ wird im Folgenden auch für den Fall gebraucht, wo der Stab an einem Ende frei, am andern befestigt ist, während N bei den longitudinalen Schwingungen blos für den Fall gilt, wo der Stab an beiden Enden frei oder befestigt ist.

$a$ die Länge eines Stabes, oder der Radius einer Kugel oder Membran.

$h$ die Dicke eines Stabes.

$b$ die Breite eines Stabes oder einer rechteckigen Membran.

$l$ die Länge einer rechteckigen Membran.

$r$ der Radius des kreisförmigen Querschnitts eines cylindrischen Stabes.

$P$ das ganze Gewicht einer Saite oder Membran.

$\tau$ das Gewicht, welches die Spannung einer Saite oder Membran hervorbringt.

$\alpha$ Die Verlängerung, welche eine Saite oder ein Saitenstück von der Länge $a$ erfährt, wenn sie durch das Gewicht $\tau$ gespannt wird.

$\alpha'$ die Verlängerung, welche ein Saitenstück $a'$ durch dasselbe Gewicht $\tau$ erfährt.

$\varpi$ die Anzahl Grade, welche der Bogen eines kreisförmig gebogenen Stabes unterspannt.

$\pi = 3{,}14159$ dem halben Umkreis.

$k$ das Maß der Elasticität der Materie, aus welcher der Stab, Draht, Platte u. s. w. besteht, welches eben so bestimmt wird, wie S. 242. Die Verhältnisse der Werthe von $k$ für verschiedene Materien sind S. 243 mitgetheilt. Im Falle $k$ auf einen, nach verschiedenen Richtungen verschieden elastischen, Stab im Folgenden bezogen wird, ist allemal die Elasticität nach der Längenrichtung verstanden.

$b'$, $h'$ zwei constante Coefficienten, die von dem Elasticitätszustande eines nach verschiedenen Richtungen verschiedenen elastischen Körpers abhängen.

$\Omega = \sqrt{\frac{5k}{2\varrho}}$ die Schallgeschwindigkeit in einem Stabe von der betrachteten Materie.

$e$ = Grundzahl der nat. Logarithmen.

$\lambda$, $\lambda'$, $\mu$, $\mu'$, $x$, $y$, $x'$, $y'$, $Q$, $Q'$, $s$, $s'$, $i$, $i'$, $q$, $\delta$, $\gamma$ werden jedesmal besonders bestimmt werden*).

### Allgemeine Sätze.

1) Wenn alle Dimensionen eines beliebig gestalteten Körpers zugleich nach demselben Verhältnisse wachsen oder abnehmen, so ändert sich die Schwingungszahl des Körpers nach dem umgekehrten Verhältnisse der Dimensionen, so daß, wenn z. B. ein parallelepipedischer Stab doppelt so

*) Die Cauchy'schen Formeln sind im Folgenden mit den Poisson'schen auf dieselben Buchstaben gebracht worden, unter der Voraussetzung, daß das Cauchy'sche $K$ mit dem Poisson'schen $k$ übereinstimmt; das Cauchy'sche $k$ aber $= 2K$, d. i. gleich dem doppelten des Poisson'schen $k$ (was in den folgenden Formeln stets gebraucht ist) ist. In der That kommen unter dieser Voraussetzung die Cauchy'schen Formeln mit den Poisson'schen überein. Eigentlich aber hat $k$ und $K$ bei Cauchy eine allgemeinere und verschiedenen Suppositionen sich fügende Bedeutung, und ich wüßte nicht, wo Cauchy nachgewiesen hätte, daß für die elastischen Körper $k = 2K$ seyn müsse. Dies für Diejenigen, welche die obigen Formeln mit denen in der Originalabhandlung vergleichen wollen.

lang, breit und dick als vorher wird, die Zahl seiner (transversalen, longitudinalen oder drehenden) Schwingungen auf die Hälfte der vorigen herab kommen wird. Dies Gesetz erstreckt sich auch auf Körper, in denen die Elasticität verschieden nach verschiedenen Richtungen ist, so wie auf die Schwingungen einer, in einem begränzten Raume eingeschlossenen, Luftmasse *) (Cauchy in Mém. de l'Acad. IX. 116).

2) Die Schwingungszahl eines beliebig gestalteten Körpers, welcherlei Art Schwingungen er auch vollbringen mag, steht im geraden Verhältniß der Quadratwurzel seiner Elasticität, im umgekehrten Verhältnisse der Quadratwurzel seiner Dichtigkeit.

3) Ein und derselbe elastische Stab kann auf vier verschiedene Weisen schwingen; er macht:

a) longitudinale Schwingungen, indem sich der Stab in der Richtung seiner Länge ausdehnt und zusammenzieht;

b) normale Schwingungen, indem er sich in der Richtung, welche senkrecht auf seiner Länge ist, ausdehnt und zusammenzieht, anschwillt und sich verdünnt;

c) drehende Schwingungen, indem er sich um seine Axe hin und zurückdreht;

d) transversale Schwingungen, indem er sich hin und her biegt (wie die Saiten bei ihren gewöhnlichen Tonschwingungen) (Poisson in Pogg. XIII. 400).

4) Die Gesetze sowohl der longitudinalen als transversalen Schwingungen von geraden oder krummen Stäben bleiben dieselben, mögen dieselben aus einem nach allen Richtungen gleich elastischen oder einem nach verschiedenen Richtungen verschieden elastischen Stoffe bestehen; nur ist im letztern Fall bei den darüber zu gebenden Bestimmungen allemal die Elasticität, welche nach der Länge des Stabes Statt findet, in Betracht zu ziehen. Hinsichtlich der drehenden Schwingungen aber ergeben sich verschiedene Bestimmungen, je nachdem der Stab aus einem nach allen Richtungen gleich oder nicht gleich elastischen Körper herausgeschnitten ist. (Cauchy Exerc. IV. 28. 29. 46. 62).

Longitudinale Schwingungen von Saiten und Stäben **).

5) Eine durch ein Gewicht oder eine sonstige Kraft gespannte Saite und ein gerader Stab, der sich durch seine eigene Steifigkeit gespannt erhält, stimmen in den Gesetzen der longitudinalen Schwingungen mit

*) Im Fall beschleunigende Kräfte, welche nicht vernachlässigt werden könnten, auf den Körper wirkten, würde das obige Gesetz nur unter der Voraussetzung gültig sein, daß diese dabei sich im umgekehrten Verhältnisse als die Dimensionen des Körpers ändern.

**) Cauchy in s. Exerc. III. p. 270. 273.; IV. 29. Poisson in Mém. de l'Acad. VIII. 436. 452.

einander überein *). Die Zahl dieser Schwingungen eines an beiden Enden freien oder an beiden Enden befestigten Stabes oder einer Saite von constanter Dicke ist unabhängig, sowohl von dieser Dicke, als von der Gestalt des Querschnitts, als auch von der Spannung der Saite, wenn eine solche betrachtet wird **). Sie hängt bloß von der Länge, der Dichtigkeit und Materie des Stabes oder der Saite ab, und zwar ist sie der Länge umgekehrt proportional.

6) Die Schwingungszahlen der verschiedenen Töne, welche eine longitudinal schwingende, an beiden Enden freie oder an beiden Enden befestigte, Saite oder gerader Stab hervorzubringen vermag, stehen im Verhältniß der Zahlen 1, 2, 3, 4... Die Schwingungszahl des Grundtons in der Zeiteinheit findet man, wenn man die Schallgeschwindigkeit in der Zeiteinheit in demselben Stabe oder derselben Saite durch die doppelte Länge derselben dividirt. Diese Regel gilt auch für einen Stab, der aus einem, nach verschiedenen Richtungen verschieden elastischen, Körper herausgeschnitten ist.

7) Die Schwingungszahl des longitudinalen Grundtons eines geraden Stabes, der an einem Ende frei, am andern Ende befestigt ist, ist die doppelte von der, welche einem eben solchen Stabe, der an beiden Enden befestigt ist, zukommt. Die Reihenfolge der Töne eines Stabes von letzterer Befestigungsart folgt der Reihe der ungeraden Zahlen, 1, 3, 5, 7.... (Mém. p. 452).

8) Die Tonhöhe eines an beiden Enden freien, kreisförmig gebogenen, longitudinal schwingenden***) Stabes steht im umgekehrten Verhältniß seiner Länge, wofern die Anzahl der Grade, die der Bogen desselben unterspannt, gleich bleibt.

Wenn man dagegen einen elastischen Stab von gleichbleibender Länge mehr oder minder krümmt, so daß er successiv die Gestalt von $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1 ganzen Umkreis annimmt, so ergeben sich folgende Bestimmungen:

a) Der Grundton, welchen der ganze Kreis liefert, stimmt mit dem zweiten Tone des halben Kreises überein und ist um eine Octave höher als der Grundton des Viertelkreises.

b) Der zweite Ton des ganzen Kreises ist um eine Octave höher als der erste Ton des halben Kreises.

c) Der dritte Ton des ganzen Kreises ist um eine Octave höher als der erste Ton des $\frac{3}{4}$ Umkreises.

*) Nur darin unterscheiden sich die longitudinalen Schwingungen der Saiten von denen der Stäbe, daß letztere aber nicht erstere von normalen Schwingungen begleitet sind.

**) Zwar lehrt der Versuch, daß der longitudinale Ton einer Saite etwas mit ihrer Spannung zunimmt, dies läßt sich jedoch mit Fug darauf schreiben, daß durch vermehrte Spannung zugleich ihre Dichtigkeit ein wenig abnimmt, welches nothwendig eine Tonerhöhung mit sich bringen muß. (Mém. p. 437).

***) d. h. nach der Richtung der Krümmung schwingenden

d) Der zweite Ton des Viertelkreises ist um eine Octave höher als der erste Ton des Achtelkreises,

u. s. f. (Cauchy Exerc. III. p. 285.) (Vgl. die Belege).

9) Wenn eine Saite oder ein Stab an beiden Enden befestigt ist, so theilt sie (er) sich in 1, 2, 3...... oder überhaupt n gleiche schwingende Abtheilungen, je nachdem sie den Grundton, den zweiten, dritten oder überhaupt nten ihrer möglichen longitudinalen Töne giebt. Ist der Stab an beiden Enden frei, so theilt er sich 2, 3, 4.... oder überhaupt $n+1$ schwingende Abtheilungen, je nachdem er den Grundton, zweiten, dritten oder überhaupt nten seiner Töne giebt. Diese Abtheilungen sind ebenfalls sämmtlich einander gleich, bis auf die beiden äußersten, deren jeder bloß die halbe Größe der übrigen hat. Diese Bestimmungen gelten ebensowohl für gerade als kreisförmig gebogene Stäbe (Mém. de l'Acad. VIII. p. 439. 452. Cauchy Exerc. III. 268. 326.)

10) Die longitudinalen Schwingungen der geraden und kreisförmig gebogenen Stäbe (aber nicht der Saiten) sind stets von normalen Schwingungen gleicher Dauer begleitet, indem der Stab an seinen verschiedenen Punkten abwechselnd anschwillt und sich verdünnt. Die Schwingungsknoten, welche diesen normalen Schwingungen entsprechen, liegen in der Mitte zwischen denen, welche den longitudinalen Schwingungen zugehören (Poisson in Mém. de l'Acad. VIII. p. 453. Cauchy Exerc. III. 326).

Formeln für die longitudinalen Schwingungen von Saiten und Stäben. Für eine homogene Saite oder einen geraden Stab von beliebigem Querschnitt, der an beiden Enden frei oder an beiden Enden befestigt ist:

$$N = \frac{n\,\Omega}{2a} = \frac{n}{2a}\sqrt{\frac{5\,k}{2\,\rho}} \qquad (1)$$

$$N_1 = \frac{\Omega}{2a} = \frac{1}{2a}\sqrt{\frac{5\,k}{2\,\rho}} \qquad (2)$$

Für einen geraden Stab, der an einem Ende frei, am andern Ende befestigt ist:

$$N = \frac{(2n-1)\,\Omega}{a}$$

$$N_1 = \frac{\Omega}{a}$$

Für eine Saite, die ihrer Länge nach aus zwei verschiedenen Theilen von der Länge a und a′ und dem Gewicht P und P′ zusammengesetzt ist, läßt sich N finden, wenn man im Werthe von N′ (Formel (7)) in Q und Q′ (Formel (9)) für $\tau$ respectiv substituirt

$$\tau\sqrt{\frac{a}{\alpha}} \text{ und } \tau\sqrt{\frac{a'}{\alpha'}}$$

Für einen kreisförmig gebogenen Stab, der an beiden Enden frei ist:

$$N = \frac{\Omega}{2a}\left(n^2 + \frac{\varpi^2}{\pi^2}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2a}\left(n^2 + \frac{\varpi^2}{\pi^2}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{\frac{5k}{2\varrho}} \qquad (3)$$

(Cauchy Exerc. III. 323).

Man erhält mithin respectiv für den Grundton, den zweiten Ton, dritten Ton u. s. w. des kreisförmigen Stabes folgende Ausdrücke:

$$\left.\begin{aligned} \text{Grundton } N_1 &= \frac{\Omega}{2a}\left(1 + \frac{\varpi^2}{\pi^2}\right)^{\frac{1}{2}} \\ \text{Zweiter Ton } N_2 &= \frac{\Omega}{2a}\left(4 + \frac{\varpi^2}{\pi^2}\right)^{\frac{1}{2}} \\ \text{Dritter Ton } N_3 &= \frac{\Omega}{2a}\left(9 + \frac{\varpi^2}{\pi^2}\right)^{\frac{1}{2}} \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

u. s. w.

Für den Fall, daß der Stab gerade würde, würde man haben $\varpi = 0$; und die erste der Gleichungen (4) würde dann mit (2) coincidiren, wie nicht anders zu erwarten.

Um nun aus der Gleichung (3) oder den Gleichungen (4) die Töne abzuleiten, welche der Stab zu geben vermag, je nachdem er bei gleichbleibender Länge einen ganzen Kreis oder $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ eines ganzen Kreises bildet, wird man in die Gleichungen (3) oder (4) respectiv folgende Werthe von $\varpi$ zu substituiren haben:

$$2\pi,\ \frac{3\pi}{8},\ \pi,\ \frac{\pi}{8},\ \frac{\pi}{16}$$

wodurch sich folgende Tabelle ergiebt:

| Bogen, welchen der Stab bildet. | Werth von N für den | | |
|---|---|---|---|
| | Grundton $N_1$ | Grundton $N_2$ | Grundton $N_3$ |
| Ganzer Umkreis; $\varpi = 2\pi$ | $\frac{\Omega}{2a}\sqrt{5}$ | $\frac{\Omega}{2a}\,2\sqrt{2}$ | $\frac{\Omega}{2a}\sqrt{13}$ |
| $\frac{3}{4}$ Umkreis; $\varpi = \frac{3\pi}{8}$ | $\frac{\Omega}{2a}\frac{\sqrt{13}}{2}$ | $\frac{\Omega}{2a}\frac{5}{2}$ | $\frac{\Omega}{2a}\frac{3\sqrt{5}}{2}$ |
| $\frac{1}{2}$ Umkreis; $\varpi = \pi$ | $\frac{\Omega}{2a}\sqrt{2}$ | $\frac{\Omega}{2a}\sqrt{5}$ | $\frac{\Omega}{2a}\sqrt{10}$ |
| $\frac{1}{4}$ Umkreis; $\varpi = \frac{\pi}{8}$ | $\frac{\Omega}{2a}\frac{\sqrt{5}}{2}$ | $\frac{\Omega}{2a}\frac{\sqrt{17}}{2}$ | $\frac{\Omega}{2a}\frac{\sqrt{37}}{2}$ |
| $\frac{1}{8}$ Umkreis; $\varpi = \frac{\pi}{16}$ | $\frac{\Omega}{2a}\frac{\sqrt{17}}{4}$ | $\frac{\Omega}{2a}\frac{\sqrt{65}}{4}$ | $\frac{\Omega}{2a}\frac{\sqrt{145}}{4}$ |

Erfahrungsbelege zu Satz 8) und Formeln (4). Die Verhältnisse der longitudinalen Schwingungen eines kreisförmig gebogenen

Stabes, welche in Satz 8) und durch die Formeln (4) ausgesprochen sind, werden durch folgende Versuche Savart's *) bestätigt.

Zwei parallelepipedische Stäbe von Messing, deren Längen respectiv 0,8225 und $1^m$,657 waren, wurden successiv so gebogen, daß jeder a) einen halben Viertelkreis, b) einen Viertelkreis darstellte; darauf die Art Schwingungen, welche den longitudinalen in geraden Stäben entspricht, darin hervorgebracht, und zwar ihr Grundton.

Der Werth von $\frac{\Omega}{2a}$, welcher in die Formeln (3) und (4) eingeht, war durch directen Versuch**) für den größern Stab = 2133,33... gefunden worden und war mithin für den kleinern = 4297,79....

Nun ergab die Beobachtung folgende Werthe von $N_1$:

a) für den Stab von 1,657 Meter Länge, wenn er so gebogen wurde, daß er successiv $\frac{1}{8}$ und $\frac{1}{4}$ Kreis darstellte:

$$N_1 = 2211,84.... \text{ und } N_1 = 2400;$$

b) für den Stab von 0,8225 Meter Länge, bei denselben Biegungen:

$$N_1 = 4423,68.... \text{ und } N_1 = 4800,$$

die so erhaltenen 4 Werthe von $N_1$ sind respectiv gleich:

$$N_1 = (1,036..)\frac{\Omega}{2a};\ N_1 = (1,125...)\frac{\Omega}{2a}$$

$$N_1 = (1,029...)\frac{\Omega}{2a};\ N_1 = (1,1168...)\frac{\Omega}{2a}$$

Es unterscheiden sich aber die Zahlencoefficienten dieser Werthe sehr wenig von folgenden zwei, welche sie nach der Tabelle darbieten sollten:

$$\frac{\sqrt{17}}{4} = 1,0307..... \text{ und } \frac{\sqrt{5}}{2} = 1,1180...$$

Nachdem der Werth von $N_1$, welcher dem Grundton des zu $\frac{1}{8}$ Kreis gelegenen, längeren Stabes entspricht, gefunden war, wurde auch der zweite und dritte Ton bestimmt. Es ergaben sich durch den Versuch als Zahlencoefficienten von $\frac{\Omega}{2a}$ die Zahlen 2 und 3, welches von den, nach der Tabelle gefoderten,

$$\frac{\sqrt{65}}{4} = 2,015...... \text{ und } \frac{\sqrt{145}}{4} = 3,010....$$

nicht merklich abweicht.

Transversale Schwingungen von Saiten und geraden parallelepipedischen Stäben***).

*) Cauchy III. p. 366.

**) d. h. durch Bestimmung der Anzahl longitudinaler Schwingungen, wenn der Stab gerade war.

***) Poisson in Mém. de l'Acad. VIII. p. 422. 442. J. de l'école polyt. cah. XVIII. p. 442. Cauchy in s. Exerc. III. p. 247. 356.; IV. 29.

11) Die Tonhöhe einer transversalschwingenden homogenen Saite verhält sich umgekehrt wie ihr Durchmesser, umgekehrt wie ihre Länge, direct wie die Quadratwurzel des Gewichts, womit sie gespannt ist. Der Grundton der transversalschwingenden Saiten ist gleich dem Grundton derselben longitudinalschwingenden Saite, wenn man letztere mit der Quadratwurzel des Verhältnisses multiplicirt, um welches die ursprüngliche Länge der Saite durch das spannende Gewicht vergrößert wird (Mém. p. 437). Eine Bewährung für letzten Umstand s. unter den Belegen.

12) Wenn bei einer Saite, die der Länge nach aus zwei verschiedenen Theilen besteht, ein solches Verhältniß Statt findet, daß das Product aus der Länge in das Gewicht des einen Theils gleich ist dem Product aus der Länge in das Gewicht des andern Theils, so macht die Saite ebensowohl gleiche und isochronische Erschütterungen, wie sie auch anfänglich erschüttert worden sein möge, als wenn sie bloß aus Einer Materie bestände, und ihre Schwingungszahl ist dieselbe, als die Schwingungszahl einer homogenen Saite von derselben Materie und der doppelten Länge als einer ihrer Theile. Findet ein anderes Verhältniß zwischen beiden Theilen der Saite Statt, so wird die Saite, wenn sie auf willkürliche Weise erschüttert wird, im Allgemeinen keine regelmäßigen Töne, sondern nur ein verworrenes Geräusch hören lassen; doch werden bei besonderen Erschütterungsarten auch regelmäßige Töne mit Schwingungsknoten entstehen können, deren Reihenfolge aber eine andere als die der natürlichen Zahlen ist. Sie werden durch eine weiterhin anzuführende Gleichung bestimmt. (Dieser Satz gilt auch für die longitudinalen Schwingungen einer solchen Saite).

13) Die Tonhöhe eines Stabes, sei er nun parallelepipedisch oder cylindrisch, an einem Ende oder an beiden Enden befestigt oder frei, verhält sich umgekehrt, wie das Quadrat der Länge, direct wie die Dicke.

14) Die Tonhöhe eines parallelepipedischen Stabes verhält sich zu der eines cylindrischen Stabes, wenn die Dicke des ersten gleich dem Radius des zweiten ist $= 1 : \frac{\sqrt{3}}{2}$, vorausgesetzt, daß die Befestigungsart der Enden und sonstige Umstände bei beiden gleich sind.

15) Die Schwingungszahl des transversalen Grundtons eines cylindrischen Stabes verhält sich, wenn er an beiden Enden frei oder an beiden Enden befestigt ist, zur Schwingungszahl des longitudinalen Grundtons desselben Stabes, oder auch eines andern Stabes oder selbst einer Saite von gleicher Länge, Materie und Dichtigkeit, während Dicke und Gestalt der Querschnitte verschieden sein können, wie der mit 3,5608 multiplicirte und mit der Länge des Stabes dividirte Radius des Stabes zu 1.

16) Die Schwingungszahl des transversalen Grundtons eines an beiden Enden freien oder befestigten cylindrischen Stabes verhält sich zum transversalen Grundtone eines an einem Ende freien, am andern befestigten cylindrischen Stabes wie 1,0000 : 0,1572. (S. die Belege).

17) Die Schwingungszahl des transversalen Grundtons eines parallelepipedischen Stabes verhält sich, wenn er an beiden Enden frei oder an beiden Enden befestigt ist, zur Schwingungszahl des longitudinalen Grundtons desselben Stabes, wie die mit 2,055838 multiplicirte, und mit der Länge des Stabes dividirte, Dicke des Stabes zu 1. (S. die Belege.)

18) Die Schwingungszahl des transversalen Grundtons eines an beiden Enden freien oder an beiden Enden befestigten parallelepipedischen Stabes verhält sich zum transversalen Grundton eines an einem Ende freien, am andern Ende befestigten Stabes ebenfalls wie 1,0000 zu 0,1572.

19) Wenn man einen Stab, der gleich breit als dick ist und nach der Richtung der Breite und der Dicke ungleiche Elasticität besitzt, einmal nach der Richtung der Breite, das andere mal nach der Richtung der Dicke transversal schwingen läßt, so wird er in diesen beiden Fällen dennoch eine ganz gleiche Schwingungszahl haben, indem, wie S. 267 erwähnt, die Schwingungszahl bloß von der Elasticität nach der Richtung der Länge abhängt (Cauchy Exerc. IV. 29).

20) Die Reihenfolge der Töne, welche ein an beiden Enden freier oder an beiden Enden befestigter cylindrischer oder parallelepipedischer Stab hervorzubringen vermag, verhält sich merklich wie die Reihenfolge der Quadrate der Zahlen 3, 5, 7, 9...., so daß, wenn die Schwingungszahl des Grundtons durch 9 ausgedrückt wird, die des zweiten Tons merklich durch 25 ausgedrückt werden kann u. s. f.*) (Mém. p. 385).

21) Die Reihenfolge der Töne, welche ein an einem Ende freier, am andern befestigter cylindrischer oder parallelepipedischer Stab hervorzubringen vermag, verhält sich, jedoch erst vom zweiten Tone an, ebenfalls wie die Reihe der Quadrate der Zahlen 3, 5, 7, 9...... Der erste Ton zum zweiten aber steht im Verhältniß von 1 : 6,3124, d. i. ziemlich wie das Quadrat von 2 zum Quadrat von 5 (Mém. p. 486).

Formeln für transversale Schwingungen von Saiten und Stäben. Für eine, durch das Gewicht $\tau$ gespannte, homogene Saite vom Querschnitt $\omega$, der Länge a und dem Gewichte P:

$$N' = \frac{n}{2a}\sqrt{\frac{\tau}{\varrho\,\omega}} = \frac{n}{2}\sqrt{\frac{g\,\tau}{a\,P}} = n\,N_{,}\sqrt{\frac{\alpha}{a}} \qquad (5)$$

$$N_{,}' = \tfrac{1}{2}\sqrt{\frac{\tau}{\varrho\,\omega}} = \tfrac{1}{2}\sqrt{\frac{g\,\tau}{a\,P}} = N_{,,}\sqrt{\frac{\alpha}{a}} \qquad (6)$$

(Mém. p. 437; Erfahrungsbelege s. S. 276).

Für eine, durch ein Gewicht $\tau$ gespannte, Saite, die (der Länge nach) aus zwei verschiedenen Theilen respectiv von der Länge a und a′ und dem Gewicht P und P′ besteht:

*) Selbst für den Grundton nämlich kann der im Zusatz zu Ende dieses Artikels bestimmte Werth von $\delta$ ziemlich vernachlässigt werden.

$$N' = \frac{\lambda}{2\pi} \qquad (7)$$

hierin bedeutet $\lambda$ alle möglichen positiven Wurzeln der Gleichung

$$Q' \sin\frac{\lambda a'}{Q'} \cos\frac{\lambda a}{Q} + Q \cos\frac{\lambda a'}{Q'} \sin\frac{\lambda a}{Q} = 0 \qquad (8)$$

$$\text{worin } Q^2 = \frac{g\,r\,a}{P};\quad Q'^2 = \frac{g\,r\,a'}{P'} \qquad (9)$$

Im Falle $\frac{l'}{a'} = \frac{l}{a}$

giebt die Gleichung

$$\lambda = \frac{n\pi Q}{2a} = \frac{n\pi Q'}{2a'}$$

mithin

$$N' = \frac{nQ}{4a} = \frac{nQ'}{4a'}$$

Die Entfernungen $x$, $x'$ der Schwingungsknoten von den beiden Enden der Saite werden respectiv durch die Wurzeln der Gleichungen

$$\sin\frac{\lambda x}{Q} = 0;\quad \sin\frac{\lambda x'}{Q'} = 0 \qquad (10)$$

bestimmt, welche respectiv kleiner als a und a' sind. (J. de l'écol. polyt. cah. XVIII. p. 442 sqq.)

Für einen cylindrischen Stab, wenn er an beiden Enden frei oder an beiden Enden befestigt ist:

$$N' = \frac{\lambda^2 r}{4\pi a^2}\sqrt{\frac{5k}{2\varrho}} = \frac{\lambda^2 r}{2\pi} N_1 \qquad (11)$$

(Mém. p. 484).

Für einen cylindrischen Stab, wenn er an einem Ende frei, am andern befestigt ist:

$$N' = \frac{\lambda'^2 r}{4\pi a^2}\sqrt{\frac{5k}{2\varrho}} = \frac{\lambda'^2 r}{2\pi a} N_1 \qquad (12)$$

(Mém. p. 484).

Für einen parallelepipedischen Stab, wenn er an beiden Enden frei oder an beiden Enden befestigt ist:

$$N' = \frac{\lambda^2 h}{4\pi a^2}\sqrt{\frac{5k}{6\varrho}} = \frac{\lambda^2}{2\pi\sqrt{3}}\,\frac{h}{a} N_1 \qquad (13)$$

(Exerc. III. 270).

Für einen parallelepipedischen Stab, wenn er an einem Ende frei, am andern befestigt ist:

$$N' = \frac{\lambda'^2 h}{4\pi a^2}\sqrt{\frac{5k}{6\varrho}} = \frac{\lambda'}{2\pi\sqrt{3}}\,\frac{h}{a^2} N_1 \qquad (14)$$

λ hat für den nten Ton folgenden Werth:

$$\lambda = \frac{(2n+1)\pi}{2} \quad (15)$$

außer für n = 1 oder für den Grundton, wo λ folgenden (wiewohl ebenfalls sehr wenig von $\frac{3\pi}{2}$ abweichenden) Werth hat:

$$\lambda = 4{,}73003 \text{ *)}$$

λ' hat für den nten Ton folgenden Werth

$$\lambda' = \frac{(2n-1)\pi}{2} \quad (16)$$

außer für n = 1, wo man hat

$$\lambda' = 1{,}8765 \text{ **)}.$$

Über die Herleitung dieser Werthe von λ und λ' vgl. den Zusatz S. 288.

Für den Fall, daß beide Enden frei oder beide Enden befestigt sind, findet man hiernach für den Grundton bei dem cylindrischen Stabe:

$$N_1' = (3{,}5608\ldots)\frac{r}{a}N_1 \quad (17)$$

(Mém. p. 487).

Bei dem parallelepipedischen Stabe:

$$N_1' = (2{,}055838\ldots)\frac{h}{a}N_1 \quad (18)$$

(Exerc. III. p. 271) ***).

Für den Fall dagegen, daß ein Ende frei, das andere befestigt ist, bei dem cylindrischen Stabe:

$$N_1' = (0{,}5598\ldots)\frac{r}{a}N_1 \quad (19)$$

Bei dem parallelepipedischen Stabe:

$$N_1' = (0{,}3230798\ldots)\frac{h}{a}N_1 \quad (20)$$

(Exerc. III. p. 271).

## Erfahrungsbelege.

Zu Satz 11) und Formel (6). Wenn $N_1'$ der transversale, $N_1$ der longitudinale Grundton einer und derselben Saite von der ursprüngli-

*) Nach Poisson's Bestimmung; Cauchy bestimmt λ zu 4,730141. (Exerc. III. 271).

**) Nach Poisson. Nach Cauchy λ' = 1,87504,

***) Poisson giebt ohne nähere Ableitung im Bull. des sc. math. IX. 29 folgende Formel (2,05610...) $\frac{h}{a}N$, die sich aber in seiner Abhandlung in den Mém. de l'Acad. VIII. nicht wieder findet; da er hier die Schwingungen rechteckiger Stäbe nicht bestimmt hat. Der etwas andere Werth des Zahlencoefficienten als bei Cauchy rührt unstreitig daher, daß er nach einer andern Annäherungsformel berechnet ist. Nimmt man jedoch λ = 4,73003, wie Poisson in seiner Abhandlung in den Mém. de l'Acad., so stimmt der Zahlencoefficient merklich mit dem Cauchy'schen überein.

chen Länge a ist, der durch das Gewicht P, womit gespannt ist, eine Verlängerung $\alpha$ erfahren hat, so hat man nach Satz 11) und Formel (6):

$$N_1' = N_1 \sqrt{\frac{\alpha}{a}}$$

Cagniard Latour wandte eine Saite von 14,8 Meter Länge an; durch Beobachtung fand sich

$$\frac{N_1}{N_1'} = \frac{188}{17},$$

mithin hätte man nach vorstehender Formel haben müssen:

$$\alpha = a \left(\frac{N_1'}{N_1}\right)^2 = 0{,}052 \text{ Meter.}$$

für die Verlängerung, welche durch das die Saite spannende Gewicht hervorgebracht wurde. Die directe Messung ergab 0,050 Meter. (Mém. de l'Acad. VIII. p. 438).

Zu den Sätzen 14) bis 17) und Formeln (17) bis (20). Die Sätze, welche das Verhältniß zwischen dem transversalen Grundtone eines an beiden Enden freien oder befestigten Stabes zu dem longitudinalen Grundtone eines andern Stabes oder auch einer Saite von gleicher Materie, Dichtigkeit und Länge bestimmen, sind durch Versuche Savart's *) und Weber's **) bestätigt worden. Ersterer verglich die transversalen Schwingungen parallelepipedischer sowohl als cylindrischer Stäbe mit den transversalen Schwingungen derselben Stäbe. Letzterer stellte diese Vergleichung bloß bei parallelepipedischen Stäben an. Es bedeuten im Folgenden Par. einen parallelepipedischen, Cyl. einen cylindrischen Stab; a die Länge, h die Dicke, $N_1$ die longitudinale, $N_1'$ die transversale Schwingungszahl in 1 Secunde.

*) Bullet. univ. des sc. math. IX. 299; oder Mém. de l'Acad. VIII. 487; oder Pogg. XIII. 402.

**) Pogg. XIV. 174.

Nach Savart:

| | $N_1'$ | |
|---|---|---|
| | nach der Beobachtung. | nach der Berechnung. |
| Par. von Messing $a = \frac{1}{8}$ ($0^m,825$) $h = 3^{mm},92$, $N_1 = 34133$ | 2667 | 2668 |
| Cyl. von Messing $a = \frac{1}{8}$ ($0^m,825$ $h = 4^m,8$, $N_1 = 34133$ | 2844 | 2829 |
| Cyl. von Kupfer $a = \frac{1}{8}$ ($0^m,825$) $h = 3^{mm},4$, $N_1 = 36864$ | 2133 | 2164 |
| Cyl. von Eisen $a = \frac{1}{8}$ ($0^m,88$) $h = 5^{mm}$, $N = 45514$ | 3686 | 3683 |
| Par. von Glas $a = \frac{1}{8}$ ($0^m,967$) $h = 6^{mm},4$, $N_1 = 42667$ | 4608 | 4645 |
| Par. von Glas $a = \frac{1}{8}$ ($0^m,967$) $h = 2^{mm},6$, $N = 42667$ | 1843 | 1887 |
| Par. von Holz (hètre) $a = \frac{1}{8}$ ($0^m,8925$) $h = 2^{mm},8$, $N = 40960$ | 2048 | 2114 |

Bei den fünf ersten Versuchen sind die Unterschiede zwischen der Rechnung und Beobachtung sehr unbeträchtlich, indem der größte nicht bis zum $\frac{1}{70}$ Theil des berechneten $N_1'$ steigt. Beim sechsten ist der Unterschied etwas größer, aber dennoch steigt er nicht bis zum $\frac{1}{40}$ Theil von $N_1'$. Man kann diesen Umstand vielleicht Ungleichheiten der Dicke beimessen, welche hier den größten Einfluß gewinnen mußten, weil der bei diesen Versuchen angewandte Stab der dünnste unter den übrigen war. Da die Substanz, die Gestalt und die Länge dieselben waren, als beim fünften Versuch, so müssen die Werthe von $N'$ proportional den Dicken sein, und dies giebt, nach Ableitung aus dem Resultate des fünften Versuches, 1872 für den sechsten Werth von $N_1'$, welche Zahl nur um $\frac{1}{120}$ von der durch Rechnung gefoderten 1887 abweicht. Am größten ist der Unterschied zwischen Rechnung und Beobachtung beim siebenten Versuche, indem er hier auf $\frac{1}{32}$ von $N_1'$ steigt. Man bemerkt endlich, daß in den beiden ersten Versuchen die Länge a und die Substanz des Stabes gleich war, und daß also die Zahl $N_1'$ der transversalen Schwingungen in beiden Fällen proportional sein würde der Dicke h, wenn der Stab dieselbe Form gehabt hätte. Der zweite Werth von $N_1'$, aus dem ersten abgeleitet, würde dann 3265 sein, statt 2844, wie ihn die Beobachtung gegeben hat. Der Unterschied, welcher zwischen beiden Zahlen da ist, zeigt deutlich den Einfluß der Form des

Stabes, und wirklich muß man nach der Theorie, wenn man, bei Gleichheit aller übrigen Umstände, von parallelepipedischen zu cylindrischen übergehen will, die Zahl $N_1'$ in dem Verhältnisse von $2 : \sqrt{3}$ vermindern, und dies reducirt die erste Zahl 3265 auf 2828, welche nur sehr wenig von der beobachteten abweicht.

Nach Weber:

| | $N_1'$ nach der Beobachtung. | $N_1'$ nach der Berechnung. |
|---|---|---|
| Par. von Messing a = 441,3 Par. Lin. h = 4,827 Lin. $N_1$ = 4684 | 101,8 | 105,3 |
| Par. von Messing a = 451,8 Par. Lin. h = 0,93 Lin. $N_1$ = 10480 | 334,7 | 337,9 |

Drehende Schwingungen *).

Es wird vorausgesetzt, daß die Axe des Stabes während der Schwingungen in unveränderter Lage bleibt.

22) Ein an einem Ende freier, am andern Ende befestigter Stab hat für seinen Grundton die doppelte Schwingungszahl als ein an beiden Enden freier oder befestigter Stab, gerade wie bei den longitudinalen Schwingungen; auch befolgt die Reihenfolge der Töne in beiden Fällen das nämliche Gesetz als bei den longitudinalen Schwingungen.

23) Die Zahl der drehenden Schwingungen eines cylindrischen oder parallelepipedischen Stabes von quadratischem Querschnitt ist unabhängig von der Dicke des Stabes und steht im umgekehrten Verhältniß seiner Länge; mag der Stab nach allen Richtungen gleich elastisch sein oder nicht. Sind dagegen Dicke und Breite des parallelepipedischen Stabes verschieden, so hängt die Schwingungszahl auf nachgehends anzugebende Weise von diesen Dimensionen mit ab.

24) Wenn Dicke und Breite eines parallelepipedischen Stabes in gleichem Verhältnisse zu- oder abnehmen, so bleibt die Zahl seiner drehenden Schwingungen dieselbe, auch wenn er nach diesen beiden Dimensionen eine ungleiche Elasticität besitzt.

25) Wenn die Dicke des parallelepipedischen Stabes sehr klein gegen die Breite ist, so steht die Tonhöhe im geraden Verhältniß der Dicke, im umgekehrten der Breite; sowohl wenn der Stab nach allen Richtungen gleich elastisch, als wenn er es nicht ist.

*) Poisson über cylindrische Stäbe in Mém. de l'Acad. VIII. 455. Cauchy über parallelepipedische Stäbe in s. Exerc. IV. 47 oder Mém. de l'Acad. IX. p. 119.

26) Wenn der parallelepipedische Stab nach allen Richtungen gleich elastisch ist, so steht seine Tonhöhe allgemein im geraden Verhältniß des Quotienten, welchen man erhält, wenn man das Product aus der Breite in die Dicke durch die Summe der Quadrate der Breite und Dicke dividirt.

27) Die Zahl der drehenden Schwingungen für den Grundton eines nach allen Richtungen gleich elastischen cylindrischen Stabes verhält sich zur Schwingungszahl des Grundtons desselben longitudinalschwingenden Stabes wie 1 : 1,5811. (Mém. p. 456) (Vergl. die Belege).

28) Die Zahl der drehenden Schwingungen für den Grundton eines nach allen Richtungen gleich elastischen parallelepipedischen Stabes verhält sich zum Grundton desselben longitudinalschwingenden Stabes wie 1,9364 : 1. (Exerc. IV. 63.)

### Formeln für die drehenden Schwingungen von Stäben.

a) Im Fall der Stab eine nach allen Richtungen gleiche Elasticität besitzt:

Für einen cylindrischen Stab, der an beiden Enden frei oder an beiden Enden befestigt ist:

$$N'' = \frac{n}{2a}\sqrt{\frac{k}{\varrho}} \qquad (21)$$

$$N_1'' = \frac{1}{2a}\sqrt{\frac{k}{\varrho}} = 0{,}316285\ N_1 \qquad (22)$$

Für einen cylindrischen Stab, der an einem Ende frei, am andern befestigt ist:

$$N'' = \frac{(2n-1)}{a}\sqrt{\frac{k}{\varrho}}$$

$$N_1'' = \frac{1}{a}\sqrt{\frac{k}{\varrho}} = 0{,}632570\ N_1$$

Für einen parallelepipedischen Stab, von der Dicke h und Breite b, der an beiden Enden frei oder an beiden Enden befestigt ist:

$$N'' = \frac{n\,h\,b}{a\,(h^2+b^2)}\sqrt{\frac{2k}{3\varrho}} \qquad (23)$$

$$N_1'' = \frac{h\ b}{a\,(h^2+b^2)}\sqrt{\frac{2k}{3\varrho}} = 4\sqrt{\frac{1}{15}}\ \frac{h\ b}{(h^2+b^2)}\ N_1 \qquad (24)$$

Im Fall Breite und Dicke desselben einander gleich sind:

$$N'' = \frac{n}{a}\sqrt{\frac{k}{6\varrho}} \qquad (25)$$

$$N_1'' = \frac{1}{a}\sqrt{\frac{k}{6\varrho}} = \frac{2}{\sqrt{15}} N_1 \qquad (26)$$

Im Fall die Dicke h sehr klein gegen die Breite b:

$$N'' = \frac{n}{a}\,\frac{h}{b}\sqrt{\frac{2k}{3\varrho}} \qquad (27)$$

$$N_1'' = \frac{h}{a\,b}\sqrt{\frac{2k}{3\varrho}} = \frac{4}{\sqrt{15}}\,\frac{h}{b}\,N_1 \qquad (28)$$

b) Im Fall der Stab nicht nach allen Richtungen gleich elastisch ist.

Für einen parallelepipedischen Stab, der an beiden Enden frei oder an beiden Enden befestigt ist:

$$N'' = \frac{n}{a}\sqrt{\frac{2}{3\varrho\left(\frac{b^2}{b'} + \frac{h^2}{h'}\right)\left(\frac{1}{b^2} + \frac{1}{h^2}\right)}} \qquad (29)$$

Im Fall die Dimensionen h und b einander gleich sind:

$$N'' = \frac{n}{a}\sqrt{\frac{h'\,b'}{3\varrho\,(h' + b')}} \qquad (30)$$

Im Fall h sehr klein gegen b:

$$N'' = \frac{n\,h}{a\,b}\sqrt{\frac{2h'}{3\varrho}} \qquad (31)$$

Beleg zu Satz 27. Nach Savart's Versuchen verhält sich die Zahl der drehenden Schwingungen für den Grundton eines cylindrischen Stabes zur Schwingungszahl desselben longitudinalschwingenden Stabs wie 1:1,6668; nach Chladni wie 2:3, d. i. wie 1:1,5000. Das Mittel hiervon, 1:1,5834, weicht nicht merklich von dem von Poisson bestimmten Verhältnisse ab (Mém. de l'Acad. VIII. p. 456.)

Longitudinale Schwingungen von kreisrunden Membranen und starren Scheiben, deren Elasticität nach allen Richtungen gleich ist *). Unter longitudinalen Schwingungen kreisrunder Membranen und Scheiben verstehen wir solche, die in der Richtung der Radien der Membranen und Scheiben oder so geschehen, daß der Bewegungszustand in gleichem Abstande vom Mittelpunkte überall derselbe ist; eine Schwingungsart, die unstreitig möglich ist, wiewohl ihre Verwirklichung nicht leicht zu sein scheint. Diese Schwingungen stimmen für Membranen und Scheiben überein, nur daß der Umkreis der Membranen, jedenfalls befestigt sein muß, was bei den Scheiben nicht nöthig ist.

*) Mém. de l'Acad. VIII. 499.

29) Die Zahl der longitudinalen Schwingungen einer Scheibe steht im umgekehrten Verhältnisse ihres Radius und ist unabhängig von ihrer Dicke und ihrer Spannung.

30) Der erste Ton zum zweiten Ton einer am Rande befestigten Scheibe oder Membran verhält sich wie 1 : 1,87.

Der erste Ton zum zweiten Ton einer am Rande freien Scheibe verhält sich wie 1 : 4,05.

Der erste Ton einer am Rande befestigten Scheibe verhält sich zum ersten Ton einer am Rande freien Scheibe wie 2,88 : 1.

31) Der erste Ton einer Membran oder Scheibe ist von keiner Knotenlinie begleitet, mag ihr Rand befestigt oder frei sein, wenn man nicht die im befestigten Rande selbst mitrechnen will.

Der zweite Ton ist in beiden Fällen von einer Knotenlinie begleitet. Diese liegt in einer Entfernung vom Mittelpunkte, welche bei der am Rande befestigten Scheibe 0,53 und bei der am Rande freien Scheibe 0,71 des Radius beträgt, mithin im ersten Falle etwas über die Hälfte, im zweiten etwas weniger als drei Viertel des Radius von dem Mittelpunkte entfernt liegt.

Allgemein ist der (n + 1)te Ton der Membran oder Scheibe von n Knotenlinien begleitet, mag die Scheibe am Rande frei oder befestigt sein, wenn man die im befestigten Rande selbst Statt findende Knotenlinie nicht mitrechnet.

Formeln für die Longitudinalschwingungen von kreisrunden Membranen und Scheiben.

Wenn der Umkreis befestigt ist:

$$M = \frac{\mu}{2\pi a}\sqrt{\frac{8\,k}{3\,\varrho}} \qquad (32)$$

Wenn der Umkreis frei ist:

$$M = \frac{\mu'}{2\pi a}\sqrt{\frac{8\,k}{3\,\varrho}} \qquad (33)$$

$\mu$ stellt alle mögliche reale Wurzeln folgender Gleichung *) dar, worin $4x = \mu^2$

$$1 - \frac{x}{2} + \frac{x^2}{3(1.2)^2} - \frac{x^3}{4(1.2.3)^2} + \frac{x^4}{5(1.2.3.4)^2} - \text{etc.} = 0 \qquad (34)$$

Die beiden kleinsten Werthe sind $x = 3{,}55$, $x = 12{,}41$, mithin $\mu = 3{,}77$ und $\mu = 7{,}05$.

*) Sie ist aus nachstehender entwickelt:

$$\int_0^\pi \cos(\lambda \cos\omega)\sin^2\omega\, d\omega = 0$$

(Mém. p. 501).

$\mu'$ stellt alle mögliche positive reale Wurzeln folgender Gleichung *) dar, worin $4\,x' = \mu'^2$

$$1 - x' + \frac{x'^2}{(1.2)^2} - \frac{x'^3}{(1.2.3)^2} + \frac{x'^4}{(1.2.3.4)^2} - \text{etc.}$$
$$- \tfrac{3}{4}\left(1 - \frac{x'}{2} + \frac{x'^2}{3\,(1.2)^2} + \frac{x'^3}{4\,(1.2.3)^2}\right.$$
$$\left. + \frac{x'^4}{5\,(1.2.3.4)^2} - \text{etc.}\right) = 0 \qquad (35)$$

Hiervon sind die beiden kleinsten Werthe:

$x' = 0{,}46$; $x' = 7{,}04$, mithin

$\mu' = 1{,}81$; $\mu' = 5{,}31$.

**Transversale Schwingungen einer kreisrunden, sehr dünnen, vollkommen biegsamen Membran vom Radius a, die am Rande gleichförmig durch ein Gewicht $\tau$ gespannt ist**).**

32) Die Tonhöhe einer kreisrunden Membran verhält sich direct wie die Quadratwurzel des spannenden Gewichts, umgekehrt wie die Quadratwurzel ihres eigenen Gewichts, und bleibt constant, wie auch die Größe der Oberfläche und Dicke sich ändern möge, so lange das Gewicht constant bleibt.

33) Der Grundton einer kreisförmigen Membran verhält sich zum zweiten Tone derselben = 2,4074 : 5,5225 d. i. = 1 : 2,2966. Die hohen Töne schreiten nach dem Verhältniß der Werthe von $m + \frac{1}{4}$ fort, wenn man in den Werth m successiv alle ganzen Zahlen (von höhern an) substituirt.

34) Die Zahl der kreisförmigen Knotenlinien einer kreisrunden Membran für den (n + 1)ten Ton ist gleich n, wenn man von der, im eingespannten Umfange liegenden, Knotenlinie absieht. Sonach entspricht dem Grundtone keine Knotenlinie, dem zweiten Tone eine einzige. Der Abstand dieser Knotenlinie vom Mittelpunkte beträgt $\frac{2{,}4047}{5{,}5225}$, d. i. 0,4347 des Radius.

**Formeln:**

$$M' = \frac{\mu}{2\pi a}\sqrt{\frac{\tau}{\varrho h}} = \frac{\mu}{2}\sqrt{\frac{\tau g}{\pi P}} \qquad (36)$$

Hierin bedeutet $\mu$ alle mögliche Wurzeln folgender Gleichung ***), worin $\mu^2 = 4\,y$.

*) Sie ist aus folgender entwickelt:

$$\int_0^\pi \cos(\lambda' \cos\omega)\,(\tfrac{1}{4}\sin^2\omega + \cos^2\omega)\,d\omega = 0$$

(Mém. p. 502).

**) Poisson in Mém. de l'Acad. VIII. 521.

***) Sie ist aus folgender entwickelt:

$$1 - y + \frac{y^2}{(1.2)^2} - \frac{y^3}{(1.2.3)^2} + \frac{y^4}{(1.2.3.4)^2} - \text{etc.} = 0 \quad (37)$$

Als angenäherte Werthe für die kleinsten Wurzeln findet man

$y = 1{,}4457$; $y = 7{,}6243$, mithin

$\mu = 2{,}4047$; $\mu = 5{,}5225$;

wonach die beiden tiefsten Töne der kreisförmigen Membran sind:

$$M_1' = 0{,}6784 \sqrt{\frac{\tau g}{P}} \text{ und}$$

$$M_2' = 1{,}5561 \sqrt{\frac{\tau g}{P}}$$

**Transversale Schwingungen quadratischer und rechteckiger Membranen, am Rande gleichförmig durch ein Gewicht gespannt *).**

35) Die Tonhöhe einer rechteckigen Membran verhält sich direct wie die Quadratwurzel des spannenden Gewichts, umgekehrt wie die Quadratwurzel ihres eigenen Gewichts, und bleibt constant, wie auch die Größe der Oberfläche und Dicke sich ändern möge, so lange das Gewicht constant bleibt.

36) Wenn sich beide Dimensionen der rechteckigen Membran in gleichem Verhältnisse ändern, so ändert sich die Tonhöhe im umgekehrten Verhältnisse hiervon, so daß, wenn z. B. eine rechteckige Membran dreimal so lang und dreimal so breit als vorher wird, ihre Tonhöhe auf das Drittel der frühern herabkömmt. Das Verhältniß ihrer Tonfolge und die Art, wie sie sich durch Knotenlinien abtheilt, bleibt aber dadurch ungeändert.

37) Bei gleicher Größe hat eine rechteckige Membran dann den kleinsten Grundton, wenn ihre beiden Dimensionen einander gleich werden, sie mithin quadratisch ist.

$$\int_0^\pi \cos(\mu \cos\omega)\, d\omega = 0 \text{ (Mém. p. 520)},$$

unter Berücksichtigung, daß

$$\int_0^\pi \cos^{2m}\omega\, d\omega = \frac{(1.3.5\ldots\ldots 2m-1)\,\pi}{2^m\,(1.2.3\ldots m)}$$

wo m eine beliebige ganze positive Zahl bedeutet.

Für sehr große Werthe von $\mu$ läßt sich der in Rede stehenden Gleichung, wie Poisson anderwärts (J. de l'école polyt. cah. XIX. p. 349) gezeigt hat, folgende substituiren:

$$\cos\lambda + \sin\lambda = 0$$

welches giebt

$$\lambda = m\pi + \frac{\pi}{4}$$

*) Poisson in Mém. de l'Acad. VIII. p. 515

38) Der Grundton einer quadratischen Membran verhält sich zum Grundton einer kreisrunden Membran bei gleichem Gewichte derselben wie 1 : 0,9593, wonach der letztere Ton ungefähr um $\frac{1}{25}$ tiefer als der erste ist.

39) Man habe eine Reihe rechteckiger Membranen von der constanten Breite 1, deren Längen respectiv sind

$$1, 2, 3, 4, 5, 6, \ldots\ldots n;$$

ihre Grundtöne werden sich respectiv zu einader verhalten wie die Quadratwurzeln folgender Zahlen:

$$\frac{2}{1}, \frac{5}{4}, \frac{10}{9}, \frac{17}{16}, \frac{26}{25}, \frac{37}{36} \ldots\ldots \frac{n^2+1}{n^2}$$

Allgemein verhält sich der Grundton einer rechteckigen Membran wie die Quadratwurzel aus dem Quotienten, welchen man erhält, wenn man die Summe der Quadrate von Breite und Länge mit dem Producte dieser Quadrate dividirt (d. i. wie

$$\sqrt{\frac{b^2+l^2}{b^2 l^2}}$$

wenn b die Breite, l die Länge).

40) Die successiven Töne einer quadratischen Membran verhalten sich wie die Quadratwurzeln folgender Zahlen:

2, 5, 8, 10, 13, 17, 18, 20, 25, 26, 29, 32....

welche Zahlen man erhält, wenn man in $m^2+n^2$ für m und n successiv alle ganzen Zahlen substituirt.

Die successiven Töne einer rechteckigen Membran, die noch einmal so lang als breit ist, verhalten sich wie die Quadratwurzeln folgender Zahlen:

5, 8, 9, 12, 13, 17, 20, 24, 29, 33, 37, 40, 44, 45, ....

welche Zahlen man erhält, wenn man in $m^2+4n^2$ für m und n successiv alle ganzen Zahlen substituirt.

Allgemein: die successiven Töne einer rechteckigen Membran, die zmal so lang als breit ist, verhalten sich wie die Quadratwurzeln der Zahl, welche man erhält, wenn man in $m^2+z^2n^2$ für m und n alle ganzen Zahlen substituirt.

41) Wenn eine rechteckige Membran sehr viel länger als breit ist, so ist ihre Tonhöhe unabhängig von der Länge, steht im umgekehrten Verhältniß der Breite, und ihre Tonreihe folgt der Reihe der natürlichen Zahlen von 1 an.

(über die Knotenlinien s. Klangfiguren).

Formeln für die Transversalschwingungen einer rechteckigen Membran von der Länge l, der Breite b, gespannt durch das Gewicht $\tau$.

$$M' = \tfrac{1}{2}\sqrt{\frac{(m^2 b^2 + n^2 l^2)\,\tau}{b^2 l^2 \varepsilon \varrho}}$$

$$= \frac{1}{2}\sqrt{\frac{(m^2 b^2 + n^2 l^2)\, \tau g}{l\, b\, P}} \quad (38)$$

$$M_1' = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{(b^2 + l^2)\, \tau}{b^2\, l^2\, \varepsilon\, \varrho}} \quad (39)$$

Für eine quadratische Membran von der Seite b und Dicke $\varepsilon$

$$M' = \frac{1}{2b}\sqrt{\frac{(m^2 + n^2)\, \tau}{\varrho\, \varepsilon}} \quad (40)$$

$$M_1' = \frac{1}{b}\sqrt{\frac{\tau}{2\, \varrho\, \varepsilon}} \quad (41)$$

Für eine rechteckige Membran, deren Breite b sehr klein gegen die Länge l ist:

$$M' = \frac{n}{2b}\sqrt{\frac{\tau}{\varepsilon\, \varrho}} \quad (42)$$

$$M_1 = \frac{1}{2b}\sqrt{\frac{\tau}{\varepsilon\, \varrho}} \quad (43)$$

Die Formeln für Bestimmung der Klangfiguren werden in dem Artikel für die Klangfiguren angeführt werden.

**Transversale Schwingungen kreisförmiger, dünner, starrer Scheiben (Platten), die nach allen Richtungen gleich elastisch sind *).**

42) Die Schwingungen verhalten sich verschieden, je nachdem die Scheibe am Rande bloß vertical angestemmt, ganz frei oder unveränderlich befestigt ist. Jedenfalls aber steht die Schwingungszahl im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates des Radius und im geraden Verhältnisse der Dicke der Scheibe.

43) Der Grundton zum zweiten Tone verhält sich:

a) im Fall der Rand vertical angestemmt ist:
$= 4{,}8591 : 29{,}67$ oder $= 1 : 6{,}161$;

b) im Fall der Rand ganz frei ist:
$= 8{,}8897 : 38{,}36$ oder $= 1 : 4{,}316$;

c) im Fall der Rand unveränderlich befestigt ist:
$= 10{,}2156 : 39{,}59$ oder $= 1 : 3{,}875$.

Die Grundtöne der drei Fälle a), b), c) verhalten sich respectiv zu einander

$= 4{,}8591 : 8{,}8897 : 10{,}2156$ d. i. $= 1 : 1{,}879 : 2{,}102$

ihre zweiten Töne

$= 29{,}67 : 38{,}36 : 39{,}59 = 1 : 1{,}289 : 1{,}334$

*) Mém. de l'Acad. VIII. p. 545.

44) Das Product aus der Schwingungszahl des transversalen Grundtons einer am Rande freien Scheibe in den Radius der Scheibe ist gleich dem Product aus der Schwingungszahl des longitudinalen Grundtons eines an beiden Enden freien, cylindrischen Stabes, dessen Länge gleich dem Durchmesser der Platte ist, in den 1,6873fachen Durchmesser des Stabes, oder es ist

$$M = (1{,}6873)\,\frac{h}{a}\,N,$$

wenn M die in Rede stehende Schwingungszahl der Scheibe, N die des Stabes, h der Durchmesser des Stabes, a der Radius der Scheibe = der halben Länge des Stabes ist (Mém. p. 566).

45) Die Knotenlinien der kreisförmigen Scheibe sind um den Mittelpunct der Platte concentrische Kreise. Sie sind unabhängig von Materie und Dicke jeder Scheibe, sie sind dem Durchmesser derselben direct proportional und hängen außerdem davon ab, ob und wie der Rand befestigt ist (Mém. p. 568).

46) Wenn die Scheibe am Rande unveränderlich befestigt oder bloß vertical angestemmt ist, so fällt für den Grundton keine Knotenlinie innerhalb der Platte, für den zweiten Ton eine einzige kreisförmige, deren Abstand vom Mittelpuncte im Fall der unveränderlichen Befestigung 0,381, im Fall der bloßen Anstemmung 0,441 des Radius beträgt. Ist aber der Rand der Platte ganz frei, so ergiebt sich für den ersten Ton eine kreisförmige Knotenlinie, die um 0,6806 des Radius vom Mittelpuncte entfernt liegt, für den zweiten Ton zwei Knotenlinien, deren Entfernung vom Mittelpuncte respectiv 0,3915 und 0,835 des Radius beträgt. (Vergl. die Belege.)

## Formeln für kreisförmige Scheiben oder Platten.

a) Wenn die Scheibe am Rande unveränderlich befestigt ist:

$$M' = \frac{\mu^2 h}{6\pi a^2}\sqrt{\frac{2k}{\varrho}} \qquad (44)$$

Hierin bedeutet $\mu$ alle mögliche Wurzeln folgender Gleichung, worin $\mu^2 = 4x$

$$\left(1 + x + \frac{x^2}{(1.2)^2} + \frac{x^3}{(1.2.3)^2} + \text{etc.}\right)\left(1 - \frac{2x}{(1.2)^2} + \frac{3x^2}{(1.2.3)^2} - \frac{4x^3}{(1.2.3.4)^2} + \text{etc.}\right)$$

$$+ \left(1 - x + \frac{x^2}{(1.2)^2} - \frac{x^3}{(1.2.3)^2} + \text{etc.}\right)\left(1 + \frac{2x}{(1.2)^2} + \frac{3x^2}{(1.2.3)^2} + \frac{4x^3}{(1.2.3.4)^2} + \text{etc.}\right) = 0 \qquad (44 \text{ bis})$$

oder durch Ausführung der Multiplication und Reduction:

$$1 - \frac{x^2}{6} + \frac{x^4}{480} - \frac{x^6}{181440} + \frac{x^8}{209018880} - \text{etc.} = 0$$

Als Näherungswerthe der kleinsten Wurzeln ergeben sich

$x^2 = 6{,}5227$; $x^2 = 98$, mithin

$\mu^2 = 10{,}2156$; $\mu^2 = 39{,}59$,

wonach sich die beiden tiefsten Töne der Platte wie diese Zahlen, d. i. nahe wie 1 : 4 verhalten (Mém. p. 560).

b) Wenn sie am Rande bloß vertical angestemmt ist.

$$M' = \frac{\mu'^2 h}{6 \pi a^2} \sqrt{\frac{2k}{\varrho}} \qquad (45)$$

Hierin bedeutet $\mu'$ alle mögliche Wurzeln folgender Gleichung, worin $\mu'^2 = 4x'$

$$1 = \frac{x'^2}{2} + \frac{x'^4}{96} - \frac{x'^6}{23224320} - \text{etc.}$$

$$- \tfrac{3}{5} \left(1 - \frac{x'^2}{6} + \frac{x'^4}{480} - \frac{x'^6}{181440} + \frac{x'^8}{209018880} - \text{etc.}\right) = 0 \qquad (45 \text{ bis})$$

Als Annäherungswerthe der kleinsten Wurzeln ergeben sich

$x'^2 = 1{,}4761$; $x'^2 = 55$, mithin

$\mu'^2 = 4{,}8591$; $\mu'^2 = 29{,}67$,

wonach sich die beiden tiefsten Töne der Platte nahe wie letztere Zahlen verhalten werden (Mém. p. 565).

c) Wenn sie am Rande ganz frei ist:

$$M' = \frac{\mu''^2 h}{6 \pi a^2} \sqrt{\frac{2k}{\varrho}} \qquad (46)$$

Hierin bedeutet $\mu''^2$ alle mögliche Wurzeln einer Gleichung, deren zwei kleinste Wurzeln zu Näherungswerthen haben:

$\mu''^2 = 8{,}8897$; $\mu''^2 = 38{,}36$ (Mém. p. 566).

Die Formeln für Bestimmung der Knotenlinien s. in dem Artikel über die Klangfiguren.

Schwingungen einer an der Oberfläche freien, nach allen Richtungen gleich elastischen, Kugel *).

Die Schwingungen werden als in der Richtung der Radien der Kugel vor sich gehend angenommen, in der Art, daß der Bewegungszustand der Kugel in gleichen Entfernungen vom Mittelpuncte überall gleich sei.

47) Die Tonhöhe zweier Kugeln steht im umgekehrten Verhältnisse ihrer Radien. Der Grundton verhält sich zum zweiten Ton = 2,56334 : 6,05973 d. i. = 1 : 2,364.

*) Mém. de l'Acad. VIII. p. 419.

48) Für den Grundton hat die Kugel keine Knotenfläche; für den zweiten Ton eine einzige, deren Abstand vom Mittelpuncte 0,74150 des Radius, mithin ziemlich $\frac{3}{4}$ des Radius beträgt.

Formeln für eine Kugel vom Radius a.

$$\mathfrak{N} = \frac{\nu}{2\pi a}\sqrt{\frac{3k}{\varrho}} \qquad (47)$$

Hierin bedeutet $\nu$ die Wurzeln folgender Gleichung:

$$(4 - 3\nu^2)\sin\nu - 4\nu\cos\nu = 0 \qquad (48)$$

Durch einige Versuche findet man für die beiden niedrigsten Werthe von $\nu$

$$\nu = 2{,}56334;\ \nu = 6{,}05973$$

Allgemein lassen sich vom zweiten Ton an die Werthe von $\nu$ oder die Wurzeln der Gleichung (48) durch folgende Gleichung für den nten Ton bestimmen:

$$\nu = n\pi - x$$

worin x durch folgende bestimmt wird:

$$\text{tang. } x = \frac{n\pi}{\frac{3}{4}n^2\pi^2 - 1}\left[1 + \frac{\frac{3}{4}n^2\pi^2 + 1}{(\frac{3}{4}n^2\pi^2 - 1)^2}\right] \qquad (49)$$

Die hierdurch bestimmten Werthe von $\nu$ sind um so angenäherter, je größer n ist; doch findet man schon für $n = 2$, $\nu = 6{,}05917$, welches mit dem durch Versuche genauer bestimmten merklich übereinkommt. Für sehr große Werthe von n verschwindet x und man hat dann

$$\nu = n\pi.$$

Über die Knotenflächen einer Kugel s. Klangfiguren.

Zusatz. Bestimmung des Werthes von $\lambda$ und $\lambda'$ S. 275.

$\lambda$ bedeutet alle mögliche, reale, positive Wurzeln der Gleichung

$$\left(e^{\lambda} + e^{-\lambda}\right)\cos\lambda = 2^{*)} \qquad (e)$$

$\lambda'$ alle mögliche reale positive Wurzeln der Gleichung

$$\left(e^{\lambda'} + e^{-\lambda'}\right)\cos\lambda' = -2^{**)} \qquad (i)$$

Für den Grundton gilt die kleinste Wurzel. Diese Gleichungen sind transcendent und können nur approximativ oder durch Versuche gelöst werden. Poisson (Mém. p. 484) bewirkt dies auf folgende Weise:

Man setze in der Gleichung (e)

$$\lambda = \frac{(2i+1)\pi}{2} \mp \delta$$

und in der Gleichung (i)

$$\lambda' = \frac{(2i+1)\pi}{2} \pm \delta.$$

*) Mém. de l'Acad. VIII. 478. Cauchy Exerc. III. 268.

**) Mém. de l'Acad. VIII. 479. Cauchy Exerc. III. 269.

wo i alle Werthe von ganzen Zahlen mit Einschluß von Null annehmen kann, wo $\delta$ eine neue auf nachgehends anzugebende Art zu bestimmende Unbekannte, kleiner als $\frac{\pi}{2}$ ist, und wo das obere oder untere Zeichen von $\delta$ genommen wird, je nachdem i eine gerade oder ungerade Zahl ist.

Durch Substitution dieser Werthe von $\lambda$ und $\lambda'$ in (e) und (i) verwandeln sich diese Gleichungen *) respectiv in

$$\sin\delta = \frac{2}{e^{\frac{1}{2}(2i+1)\pi}\, e^{\mp\delta} + e^{-\frac{1}{2}(2i+1)\pi}\, e^{\pm\delta}} \quad (e')$$

$$\sin\delta = \frac{2}{e^{\frac{1}{2}(2i+1)\pi}\, e^{\pm\delta} + e^{-\frac{1}{2}(2i+1)\pi}\, e^{\mp\delta}} \quad (i')$$

Suchen wir nun zuvörderst den Werth von $\delta$ für Gleichung (e').

Für i = o geschieht der Gleichung (e') Genüge, wenn man setzt $\delta = \frac{\pi}{2}$; da aber dies giebt $\lambda = o$, so wird dieser Werth bei Seite gelassen. Für i = 1 findet man $\delta = 0{,}01797$, wenn man Behufs einer ersten Annäherung in (e') setzt $e^{\mp\delta} = 1$; und substituirt man dann zu genauerer Annäherung diesen Werth von $\delta$ in $e^{\mp\delta}$, so führt (e') zu folgendem Werthe:

$$\delta = 0{,}01764$$

Die Werthe von $\delta$, welche sich auf i = 2, = 3 u. s. f. beziehen, sind noch kleiner als vorstehende, so daß $\delta$ hier merklich vernachlässigt werden kann.

Solchergestalt haben wir für i = 1, d. i. für den ersten Ton:

$$\lambda = \frac{3\pi}{2} + \delta = \frac{3\,(3{,}1415926\ldots)}{2} + \delta = 4{,}73003\ldots$$

und für den 2ten, 3ten, 4ten, nten Ton merklich

$$\lambda = \frac{5\pi}{2},\ \lambda = \frac{7\pi}{2},\ \lambda = \frac{9\pi}{2},\ \lambda = \frac{(2n+1)}{2}\pi$$

Suchen wir jetzt den Werth von $\delta$ für Gleichung (i'). Man findet nach einigen Versuchen für i = o mit hinreichender Annäherung:

$$\delta = 0{,}3048$$

*) Unter der Berücksichtigung, daß $\cos\lambda = \cos\left(\frac{(2i+1)}{2}\pi \mp \delta\right) = \pm\sin\delta$. In der That, setzen wir der Kürze halber $\frac{(2i+1)\pi}{2} = u$, so ist nach der bekannten Formel

$$\cos\lambda = \cos u \cos\delta \pm \sin u \sin\delta$$

es ist aber $\cos u = 0$, $\sin u = 1$, weil u alle mögliche ungerade Multipla von $\frac{\pi}{2}$ repräsentirt.

Der kleinste Werth von $\lambda'$ wird also sein

$$\lambda' = \frac{\pi}{2} + \delta = 1{,}8756$$

Die Werthe von $\delta$ für $i = 1, = 2, = 3$ u. s. f. sind so klein, um merklich vernachlässigt werden zu können, so daß man merklich für den 2ten, 3ten, 4ten, nten Ton findet:

$$\lambda' = \frac{3\pi}{2},\ \lambda' = \frac{5\pi}{2},\ \lambda' = \frac{7\pi}{2},\ \lambda' = \frac{(2n-1)\pi}{2}$$

Cauchy findet die Werthe von $\lambda$ oder $\lambda'$, welche dem Grundtone entsprechen, in Gleichung (e) und (i) folgendergestalt (Exerc. III. p. 270). Man ersetze cos $\lambda$ und cos $\lambda'$ respectiv durch

$$\frac{e^{\lambda\sqrt{-1}} + e^{-\lambda\sqrt{-1}}}{2} \text{ und } \frac{e^{\lambda'\sqrt{-1}} + e^{-\lambda'\sqrt{-1}}}{2}$$

und setze der Kürze halber $4\lambda^4 = s$, $4\lambda'^4 = s'$. Entwickelt man dann (e) und (i) nach den aufsteigenden Potenzen von $s$ und $s'$, so werden sie respectiv zu folgenden:

$$1 - \frac{s}{5.6.7.8} + \frac{s^2}{5.6.7.8.9.10.11.12} - \frac{s^3}{5.6 \ldots\ldots 16} + \text{etc.} = 0 \qquad (e'')$$

$$2 - \frac{s'}{1.2.3.4} + \frac{s'^2}{1.2.3.4.5.6.7.8} - \frac{s'^3}{1.2 \ldots\ldots 12} + \text{etc.} = 0 \qquad (i'')$$

Für kleine Werthe von $s$ und $s'$ und für eine erste Annäherung kann man die Potenzen von $s$ und $s'$, welche die zweite übersteigen, vernachlässigen, wo dann die Lösung der Aufgabe auf die Lösung einer quadratischen Gleichung zurückkommt. Man findet solchergestalt für den kleinsten Werth von $s$ und $s'$

$s = 2025{,}258$ aus (e″)
$s' = 49{,}459$ aus (i″)

Zu größerer Annäherung löse man jetzt (e″) und (i″) noch einmal auf, indem man die hier gefundenen Werthe von $s$ und $s'$ in $s^3$ und $s'^3$ substituirt, so wird sich finden

$s = 2002{,}255....$ aus (e″)
$s' = 49{,}44944....$ aus (i″)

Um $\lambda$ auch für die übrigen Töne zu finden, setze man in (e)*)

$$\lambda = \frac{(2n+1)\pi}{2} + \gamma \qquad (f)$$

*) Cauchy wendet das nachfolgende Approximationsverfahren auch auf die Gleichung (l) an, allein man erhält hierdurch für die niederen Werthe von $\lambda'$

wo $\gamma$ eine noch zu bestimmende Größe, kleiner als $\frac{\pi}{2}$, ist. Man findet, daß $\gamma$ approximativ sich folgendermaßen bestimmt:

$$i = (-1)^{n+1} \frac{2}{e^{(2n+1)\frac{\pi}{2}} + e^{-(2n+1)\frac{\pi}{2}}} \qquad (k)$$

und zwar vermöge folgender Herleitung. Es sei der Kürze halber

$$\frac{(2n+1)\pi}{2} = q$$

so hat man statt (e)

$$\left(e^q e^\gamma + e^{-q} e^{-\gamma}\right) \cos(q+\gamma) = 2 \qquad (l)$$

Es ist ferner, mit Vernachlässigung von $\gamma^2$

$$e^\gamma = 1 + \gamma;\ e^{-\gamma} = 1 - \gamma$$

$$\cos(q+\gamma) = \cos q \cos \gamma - \sin q \sin \gamma = (-1)^{n+1} \gamma$$

weil (bei Vernachlässigung von $\gamma^2$)

$$\cos q = 0,\ \sin \gamma = \gamma,\ -\sin q = (-1)^{n+1}$$

Substituirt man diese Werthe von $e^\gamma$, $e^{-\gamma}$ und $\cos(q+\gamma)$ in (l), so erhält man (k).

Die Annäherung bestimmt $\lambda$ selbst für den Grundton oder für $n = 1$ in (f) merklich richtig, denn man findet danach

$$N_1' = 2{,}0561\ldots \frac{2h}{a} N_1$$

---

## V. Klangfiguren.

### Über Hervorbringung der Klangfiguren von Strehlke und Chladni*).

Wahl und Vorrichtung der Scheiben. Aus den Discussionen von Strehlke und Chladni über diesen Gegenstand scheint hervorzugehen, daß, wenn es darauf ankommt, regelmäßige und symmetrische Figuren zu erlangen, Metallscheiben sich weniger eignen als Glasscheiben, indem erstere zu diesem Zwecke nicht leicht von hinlänglich gleichförmiger Dicke und Consistenz erlangt werden können, wie denn in der That die in

keine hinreichende Annäherung, wovon man sich durch Betrachtung der so gefundenen Werthe von $\frac{1}{t}$ in Exerc. III. p. 271 überzeugen kann.

*) Strehlke in Pogg. Ann. IV. 205; XVIII. 198. Chladni ebendas. V. 345.

Strehlke's erster Abhandlung beigefügten Klangfiguren, welche er mit seinen ausgesuchten Scheiben von Messing oder Glockenmetall erhielt, sämmtlich nichts anders als Verzerrungen regelmäßiger Figuren sind.

Dagegen behauptet Strehlke fortwährend gegen Chladni, daß die Figuren auf Metallscheiben durch Schärfe und Bestimmtheit sich vor denen auf glatten Glasscheiben auszeichnen. Indeß giebt es nach Strehlke ein Mittel, auch Glasscheiben diesen Vortheil zu verleihen, indem man sie nämlich auf der Fläche, wo die Figuren hervorgebracht werden sollen, mit Blattgold belegt oder mit einer dünnen Schicht einer Auflösung von Gummilack in absolutem Alkohol überzieht. Auch geben nach ihm Glasscheiben mit mattgeschliffener Oberfläche schärfere Figuren als Glasscheiben mit polirter Oberfläche. Selbst die Metallscheiben findet er vortheilhaft abzuschleifen.

Übrigens dürfen sowohl metallene als gläserne Scheiben, welche einige Zeit hindurch nicht gebraucht worden sind, ohne vorhergegangene sorgfältige Reinigung nicht sofort zur Hervorbringung von Klangfiguren benutzt werden. Eine beginnende Oxydation der Oberfläche hemmt die Bewegung des Sandes so sehr, daß man an den Stellen, wo die ruhenden Linien sich nahe kommen, nichts Bestimmtes mehr erkennt. Alle Stellen der Scheibe, welche man mit anscheinend ganz trockenen Fingerspitzen berührt hat, werden den Sand der Scheibe zurückhalten. Scheiben, welche aus einem kältern in ein wärmeres Zimmer gebracht sind, werden, wenn auch kein sichtbarer Niederschlag der Wasserdämpfe erfolgt, dennoch durch die anhängende Feuchtigkeit den Sand so stark zurückhalten, daß man sich umsonst bemühen würde, die Figuren in gewohnter Vollkommenheit darzustellen. Auch, wenn viele Personen in der Nähe der Scheiben sind, wird die Bildung der Figuren gestört.

Befestigung der Scheiben. Um eine sichere Aufstellung der Scheiben zu bewirken, empfahl Strehlke eine Art eiserner Gabel mit hölzernem Griff, welche in Poggend. IV. 207 beschrieben ist.

Chladni erinnert, wiewohl er gegen den Gebrauch eines Instruments zum Halten der Scheibe Nichts einzuwenden habe, finde er es doch jedenfalls leichter und bequemer, sich der bloßen Finger zu bedienen, wobei er die Scheibe, wo möglich, allemal an einer Durchschnittsstelle der Linien, nicht aber am Rande hält, außer etwa in Fällen, wo eine Ausbiegung einer Linie sich am Rande befindet.

Strehlke selbst führt später an, daß man mittelst seines Instruments nicht gut eine und dieselbe Klangfigur beliebig zum zweiten Male erhalten kann, insofern eine kleine Verrückung in der Haltungsstelle, ja schon das stärkere oder schwächere Einspannen der Scheibe die Curven ändern kann. Bei seinen messenden Versuchen über die Klangfiguren zog er es daher vor, die Scheibe entweder auf unterstützenden verticalen Holzstäbchen, welche an den Berührungsstellen mit der Scheibe kleine kreisförmige Tuchstückchen trugen, ruhen zu lassen oder sie geradezu auf die Finger der linken Hand zu legen.

In diesem Falle, wenn man nur ungefähr die Unterstützungspuncte getroffen hat, bei welchen man ein Mal eine bestimmte und deutliche Klangfigur erhalten hatte, kann man sicher sein, so oft man will, dieselbe Klangfigur wieder zu erhalten.

Bestreuen der Scheiben. Für die Schärfe der Figuren ist es von vorzüglicher Wichtigkeit, nur wenig Sand auf die Scheibe zu streuen, höchstens so viel, daß etwa 3 bis 4 Körnchen auf die Quadratlinie kommen. Von dem regelmäßigen Überstreuen hängt die Regelmäßigkeit der Figuren in der Breite ab, und man muß einige Übung darauf verwenden, durch mehrmaliges Schwenken des den Sand enthaltenden Gefäßes, indem man immer nur einige Körner auf Ein Mal ausstreut, eine regelmäßige Überstreuung hervorzubringen. Als aufzustreuender Körper scheint der reine staubfreie Quarzsand, und noch mehr der schwere magnetische Eisensand, welcher sich an den Küsten des Meeres und an den Ufern der Binnenseen der Ostseeländer vorfindet, nach Strehlke den Vorzug zu verdienen.

In einigen besonderen Versuchen kann auch angefeuchteter Sand mit Vortheil angewandt werden *).

Streichen der Scheiben. Der Violinbogen muß an derselben Stelle des Randes senkrecht auf- und abgeführt werden und die damit hervorgebrachte Bewegung muß gleichmäßig so lange fortgesetzt werden, bis die Figur keine weitere Abänderung mehr erfährt. Wenn man die Absicht hat, an den Klangfiguren Messungen anzustellen, so muß, um jeden Zweifel über den Gang der eigentlich ruhenden Linien zu entfernen, die Figur so lange immer wieder auf's Neue hervorgebracht werden, bis man an den Stellen, wo die Messung geschehen soll, nur eine einzige Reihe von Sandkörnchen erhalten hat. Man wird annehmen können, daß die die Mittelpuncte dieser Sandkörnchen verbindende Linie die eigentlich ruhende Linie ist, um deren Ausmittelung es sich handelt. Hätte man mehrere Reihen neben einander erhalten, so würde man nicht annehmen dürfen, daß die mittlere Reihe gerade diejenige sei, welche durch die wahrhaft ruhende Linie geht; es könnte die erste oder die dritte Reihe eben so gut die eigentlich ruhende

*) So läßt sich auf diese Weise darthun, daß in den Klangscheiben die ruhenden Stellen durch die Scheibe senkrecht auf die Oberfläche hindurch gehen. Auch kann dieses Mittel gebraucht werden, um die Schwingungen eines cylindrischen Glasgefäßes sichtbar zu machen. Überzieht man die innere und äußere Seite eines gewöhnlichen Trinkglases mit stark angefeuchtetem Sande (welches für die innere Seite sehr leicht geschieht durch Drehung des Glases um seine horizontal gelegte Axe, wobei der angefeuchtete Sand sich an der innern Seite des Gefäßes anlegt), und setzt das Glas durch einen Violinbogen in Schwingung, so vertheilt sich der Sand in 4 oder 6 Dreiecke, welche ihre Spitzen in dem Rande des Glases haben, während die übrigen Stellen desselben frei und durchsichtig werden. Auf der äußern Seite erscheint eine gleich große Anzahl ruhender Stellen, welche aber zwischen den ruhenden der innern Seite liegen, nicht diese decken, wie es bei ebenen Scheiben der Fall ist.

Reihe sein, gegen welche sich die beiden anderen wie gegen einen festen Damm anstemmen. (Strehlke).

### Klangfiguren auf Scheiben aus Körpern von nach verschiedenen Richtungen verschiedener Elasticität, von Savart *).

Savart hat in Bezug auf Klangfiguren auf kreisrunden Scheiben, die aus Holz oder Krystallen (besonders Bergkrystall), in welchen sich drei auf einander rechtwinkliche Elasticitätsaxen annehmen lassen, geschnitten sind, folgende Resultate erhalten, hinsichtlich deren Belege wir auf die Originalabhandlung verweisen, da sie sich auf ein großes Detail einzelner Beobachtungen gründen. (Vergl. auch S. 230).

1) Befindet sich eine der Elasticitätsaxen in der Ebene der Scheibe, so besteht eine der Knotenfiguren aus zwei geraden, sich rechtwinklich schneidenden, Linien, von denen eine sich immer jener Axe parallel legt; die andere Figur besteht aber aus zwei hyperbelähnlichen Curven.

2) Enthält die Scheibe keine der Axen in ihrer Ebene, so bestehen allemal beide Knotenfiguren aus hyperbolischen Curven, und niemals finden sich gerade Linien unter ihnen.

3) Die Anzahl der mit jeder Theilungsart verbundenen Schwingungen ist im Allgemeinen desto größer, je geringer die Neigung der Ebene der Scheibe gegen die Axe der größten Elasticität ist.

4) Die Scheibe, welche die Axen der größten und mittlern Elasticität in ihrer Ebene enthält, giebt den höchsten Ton oder macht die meisten Schwingungen.

5) Die Scheibe, welche gegen die Axe der größten Elasticität senkrecht steht, giebt den tiefsten Ton oder die wenigsten Schwingungen.

6) Wenn sich eine der Axen in der Ebene der Scheibe befindet, und die Elasticität senkrecht gegen diese Axe eben so groß wie in derselben ist, so sind die beiden Knotensysteme einander ähnlich; beide bestehen dann aus einem rechtwinklichen Kreuze gerader Linien und liegen um 45° aus einander. In einem Körper, der drei ungleiche Elasticitätsaxen besitzt, giebt es nur zwei Ebenen, welche diese Eigenschaft besitzen.

7) Die Hauptaxe der Knotencurven stellt sich immer in die Richtung der kleinsten Elasticität; und, wenn also in einer Reihe von Scheiben diese Axe die früher von der Nebenaxe behauptete Stellung einnimmt, so folgt daraus, daß die Elasticität in dieser Richtung geringer als in der andern geworden ist.

8) Wenn ein Körper drei ungleiche Elasticitätsaxen besitzt, so giebt es in demselben vier Ebenen, in denen die Elasticität so vertheilt ist, daß die mit diesen Ebenen parallelen Scheiben zwei gleiche Töne geben, und

*) Mém. de l'Acad. 1830. IX. 405; oder Ann. de Chim. et de Phys. XL. 113.; XLI. 61; oder Pogg. XVI. 206, 248; oder Kastn. Arch. XVII. 385, 437.

wenn man sie um zwei feste, von Savart Nobalcentra genannte, Puncte dreht, ihre Theilungsarten allmälig in einander übergehen.

9) Die Schwingungsmengen sind nur indirect mit den Theilungsarten verknüpft; denn einerseits werden zwei einander ähnliche Knotenfiguren von sehr verschiedenen Tönen begleitet, und andererseits entstehen die nämlichen Töne bei sehr verschiedenen Figuren.

10) Endlich kann man aus den untersuchten Thatsachen noch eine allgemeinere Folgerung ableiten. Wenn eine Kreisscheibe verschiedene Eigenschaften nach verschiedenen Richtungen besitzt, oder, anders gesagt, ihre Theile nicht symmetrisch um den Mittelpunct geordnet sind, so wird die Lage der Theilungsarten, deren sie fähig ist, durch ihre Structur bedingt, und jede Theilungsart, für sich betrachtet, kann immer, indem sie jedoch mehr oder weniger beträchtliche Veränderungen erleidet, zwei ebenfalls bestimmte Lagen einnehmen, so daß in heterogenen Kreisscheiben alle Theilungsarten gleichsam doppelt erscheinen.

Bemerkung verdient noch, daß auch Scheiben, die aus gegossenen Metallen bestehen, sich hinsichtlich der bestimmten Lagen, welche die Knotenlinien darauf annehmen, wie Scheiben, die aus Krystallen geschnitten sind, verhalten. (Vgl. S. 10 und 31.)

## Bestimmung der Klangfiguren auf Membranen und Scheiben, von Poisson.

Poisson hat zuerst die Aufgabe gelöst, die Klangfiguren, welche sich auf biegsamen Membranen und starren Scheiben oder Platten bilden, durch Gleichungen auszudrücken und ihren Zusammenhang mit den dabei entstehenden Tönen anzugeben; und zwar hat er dies bisher in Bezug auf kreisrunde und rechteckige Membranen und in Bezug auf kreisrunde, aber noch nicht in Bezug auf rechteckige Scheiben gelöst, auch die vorzüglichsten Klangflächen einer Kugel bestimmt. Diese Untersuchungen, deren Resultate im Folgenden mitgetheilt werden sollen, sind in seiner größern Abhandlung Sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques in den Mém. de l'Acad. VIII. 357 enthalten.

Die Elasticität der Scheiben im Folgenden ist nach allen Richtungen als gleich angenommen. Bei den Membranen wird vorausgesetzt, daß sie im ganzen Umrisse ihres Randes gleichförmig durch ein Gewicht gespannt sind, welches in der Richtung ihrer Ebene und gleichförmig überall senkrecht auf den Rand wirkt.

## Klangfiguren bei longitudinalen Schwingungen kreisförmiger Membranen oder Scheiben.

Diese Figuren sind Kreise, welche um den Mittelpunct der Membran oder Scheibe concentrisch liegen. Sie stimmen für biegsame Membranen und starre am Rande befestigte Scheiben überein, haben aber andere Dimensionsverhältnisse bei Scheiben, die am Rande frei sind. Jedenfalls

entsprechen dem nten Ton der Membran oder Scheibe n — 1 concentrische Kreise, abgesehen von der im Rande selbst liegenden Knotenlinie, so daß bei dem Grundtone gar keine Knotenlinie in die Fläche der Platten fällt. Die einzige kreisförmige Knotenlinie, welche dem zweiten Tone entspricht, liegt bei der eingespannten Membran, so wie der am Rande befestigten Scheibe in einem Abstande vom Mittelpuncte, welcher $\frac{3,77}{7,50}$ = (0,55) des Radius der Scheibe beträgt; bei der am Rande freien Scheibe aber in einem Abstande vom Mittelpuncte $= \frac{3,77}{5,31}$; d. i. 0,71 des Radius.

Allgemein werden die Abstände der Knotenlinien vom Mittelpuncte bei der eingespannten Membran und der am Rande befestigten Scheibe für den nten Ton durch folgende Gleichung bestimmt:

$$R = \frac{\mu a}{\mu_n}$$

Hierin bedeutet R den Radius der kreisförmigen Knotenlinie oder die Radien, wenn deren mehrere sind, a den Radius der Scheibe oder Membran, $\mu_n$ den Werth von $\mu$, welcher sich als Wurzel der Gleichung (34) (S. 281) für den nten Ton ergiebt, $\mu$ aber alle mögliche positive Wurzeln dieser Gleichung, mit Ausschluß derer, durch welche $R > a$ werden würde.

Für eine am Rande freie Scheibe würde man haben:

$$R = \frac{\mu' a}{\mu'_n}$$

wo $\mu'_n$ und $\mu'$ in Bezug auf die Gleichung (35) (S. 282) dasselbe sind, was $\mu_n$ und $\mu'_n$ in Bezug auf die Gleichung (34).

### Klangfiguren bei transversalen Schwingungen kreisrunder Membranen und Scheiben.

Auch diese sind um den Mittelpunct concentrische Kreise.

a) Bei einer Membran vom Radius a. Dem nten Tone entsprechen auch hier n — 1 innerhalb der Membran fallende Kreise; mithin dem Grundtone keine, dem zweiten Tone eine. Der Radius dieses Kreises beträgt $\frac{2,4047}{5,5225} = 0,4347$ des Radius der Membran. Allgemein werden die Radien R der Knotenlinien für den nten Ton durch folgende Gleichung bestimmt:

$$R = \frac{\mu a}{\mu_n}$$

wo sich $\mu$ und $\mu_n$ auf Gleichung (37), analog als bei longitudinalen Schwingungen angegeben worden, beziehen.

b) Bei einer Scheibe vom Radius a.

α) Im Fall die Scheibe am Rande bloß vertical ange-

stemmt ist. Dem nten Tone entsprechen (n — 1) Knotenlinien innerhalb der Fläche der Scheibe. Der Radius der einzigen Knotenlinie für den 2ten Ton ist 0,441 des Radius der Scheibe. Allgemein werden die Radien R der Knotenlinien für den nten Ton durch folgende Gleichung bestimmt:

$$R = \frac{2a}{\mu'_n} \sqrt{y'}$$

Hierin bedeutet $\mu'_n$ diejenige Wurzel der Gleichung (45 bis) (S. 287), welche dem nten Tone zugehört; $y'$ aber alle die verschiedenen Wurzeln folgender Gleichung:

$$\left(1 + x' + \frac{x'^2}{(1.2)^2} + \frac{x'^3}{(1.2.3)^2} + \text{etc.}\right)\left(1 - \frac{y'}{(1.2)^2} + \frac{y'^2}{(1.2.3)^8} - \frac{y'^3}{(1.2.3.4)^2} + \text{etc.}\right)$$
$$- \left(1 - x' + \frac{x'^2}{(1.2)^2} - \frac{x'^3}{(1.2.3)^2} + \text{etc.}\right)\left(1 + \frac{y'}{(1.2)^2} + \frac{y'^2}{(1.2.3)^2} + \frac{y'^3}{(1.2.3.4)^2} + \text{etc.}\right) = 0$$

$\beta$) Im Fall der Rand ganz frei ist. Dem nten Tone entsprechen n Knotenlinien. Für den Radius R der kreisförmigen Knotenlinie des tiefsten Tones ergiebt sich

$$R = (0{,}6806)\, a$$

für die zwei Knotenlinien des zweiten Tons

$$R = (0{,}3915)\, a, \quad R = (0{,}835)\, a$$

Versuche Savart's *) dienen diesem zur Bestätigung. Dieser maß die Radien der Knotenlinien auf 3 kreisförmigen Kupferscheiben von verschiedenen Dimensionen, deren Ränder ganz frei waren. Für den Grundton erhielt er auf diesen drei Scheiben:

0,6819; 0,6798; 0,6812

als Verhältniß zwischen dem Radius der einzigen kreisförmigen Knotenlinie zu dem Radius der Scheibe. Bei dem zweiten Tone erhielt er für die beiden Knotenlinien, welche hier Statt finden, respectiv folgende Verhältnisse:

0,3855; 0,3876; 0,3836
0,8410; 0,8427; 0,8406

$\gamma$) Im Fall der Rand unveränderlich befestigt ist. Dem nten Tone entsprechen (n — 1) Knotenlinien. Für den zweiten Ton ergiebt sich der Radius R der Knotenlinie = (0,381) a. Allgemein wird der Radius R durch folgende Gleichung bestimmt:

$$R = \frac{2a}{\mu_n} \sqrt{y}$$

*) Mém. de l'Acad. VIII. 568.

Hierin bedeutet $\mu_n$ diejenige Wurzel der Gleichung (44 bis) (S. 286), welche dem nten Tone zugehört, y aber die verschiedenen Wurzeln der Gleichung S. 297, wenn man für x' substituirt x und für y' substituirt y.

Klangflächen einer auf der Oberfläche freien Kugel vom Radius a.

Die Schwingungen werden in der Richtung der Radien vor sich gehend, und der Bewegungszustand in gleicher Entfernung vom Mittelpunkte für überall gleich angenommen.

Dem nten Tone entsprechen (n — 1) sphärische, um den Mittelpunkt concentrische, Knotenflächen. Der Radius der für den zweiten Ton Statt findenden ist $= \frac{4,49331}{6,05973}$ a = (0,74150) a

Allgemein werden die Radien R der Knotenflächen für den nten Ton durch folgende Gleichung gegeben, worin $x = \frac{\nu_n R}{a}$, $\nu_n$ aber die, dem nten Tone zugehörige Wurzel der Gleichung (48) S. 283 bedeutet:

$$x \cos x - \sin x = 0$$

(mit Vorbehalt, wie auch stets im Vorigen, die Werthe von R bei Seite zu lassen, welche größer sind als a). Die beiden kleinsten Wurzeln letzterer Gleichung sind näherungsweise

$$x = 4,49331 \,; \; x = 7,73747$$

## Klangfiguren auf rechteckigen Membranen.

Wenn die Seiten einer rechteckigen Membran streng incommensurabel sind, so entspricht ihrem Grundtone gar keine Knotenlinie (außer im befestigten Rande, welche nicht mit gezählt werden), jedem höhern Tone, den sie giebt, aber nur ein einziges System von Knotenlinien. Diese Linien sind den Seiten respectiv parallel, und so angeordnet, daß die Membran dadurch in lauter unter einander gleiche Rechtecke getheilt wird. Die Membran kann nun so schwingen, daß alle Knotenlinien blos der einen Seite, oder daß sie blos der andern Seite parallel laufen, oder daß sich kreuzende Knotenlinien respectiv beiden Seiten parallel laufen, und zwar ist die Membran aller denkbaren Combinationen in diesem Bezuge fähig, so daß z. B. der einen Seite (je nach dem Tone, den sie giebt) 1, 2, 3, 4, oder überhaupt eine beliebige Anzahl Knotenlinien (in gleichen Abständen von einander) parallel laufen können, während der andern Seite gar keine parallel läuft, oder es kann auch der einen Seite eine beliebige Anzahl Knotenlinien parallel laufen, während der andern ebenfalls eine beliebige Anzahl Knotenlinien parallel läuft, wobei immer entsprechende abgeänderte Töne entstehen. Man kann daher die Töne solcher Membranen, wie Chladni gethan (Biot II. 77), nach der Anzahl der Knotenlinien, die der einen und andern Seite parallel gehen, ordnen und bezeichnen, so daß z. B. 2 | 1, 4 | 3 Töne bedeuten, bei denen respectiv 2 oder 4 Linien der kürzern, 1 oder 3 Linien der längern Seite parallel laufen. — Eine gleiche Anzahl Knoten-

linien, welche der längern Seite parallel laufen, entspricht einem höhern Tone als eine solche, welche der kürzern parallel laufen.

Wenn die Seiten einer rechteckigen Membran ein gemeinschaftliches Maß haben (wohin mithin quadratische Membranen, solche, deren Seiten sich wie 1:2, wie 2:3 u. s. f. verhalten, gehören), so können jedem Tone, je nach der Erschütterungsart, in welche die Membran versetzt worden ist, unendlich viel verschiedene Arten Knotenlinien entsprechen *).

Jedes dieser Systeme besteht im Allgemeinen aus einer gewissen Anzahl gerader Knotenlinien, die den Rändern parallel gehen **), und krummen Linien, welche sich in gewissen Theilen ihrer Länge Ellipsen oder Hyperbeln oder Zusammenfügungen solcher Linien ausnehmend nähern können, ohne jedoch wahrhaft solche zu seyn; indem ihre Gleichungen transcendent sind. Durch allmählige Abänderung der Erschütterungsart ändern sich diese Knotenlinien allmälig ab, während der Ton hierbei immer derselbe bleibt.

Die nähern Bestimmungen sind in Folgendem enthalten:

1) Für die Voraussetzung, daß beide Seiten der Membran incommensurabel sind. Man setze den Anfang der Coordinaten in eine Ecke der Membran, und nehme die Längenseite l für die Axe der x, die breite Seite b für die Axe der y, dann werden in unserem Falle bei einem Ton, der durch die Formel (38) Seite 285 ausgedrückt wird, alle die Punkte der Membran in Ruhe bleiben, welche Werthe von $x = \frac{il}{m}$ und Werthen von $y = \frac{i'b}{n}$ entsprechen, wo i alle Werthe positiver ganzer Zahlen (Null eingeschlossen), die nicht größer als m, und i' alle Werthe positiver ganzer Zahlen, die nicht größer als n sind, bedeutet. Solchergestalt wird die Membran für den Ton, der beliebigen in die Formel (38) substituirten Werthen von m und n entspricht, jedenfalls in mn einander gleiche Rechtecke getheilt werden, und es wird keine andre Theilungsart möglich seyn.

2) Für die Voraussetzung, daß beide Seiten der Membran ein gemeinschaftliches Maß haben.

Das gemeinschaftliche Maß der beiden Seiten l und b sey $\zeta$, so daß $l = e\zeta$, $b = e'\zeta$, wo e und e' ganze, durch das Verhältniß der Seiten bestimmte, Zahlen sind. Es seyen ferner A und B Größen, die blos von den Umständen, unter denen die Membran erschüttert wird, abhängen und welche hiernach alle mögliche Werthe annehmen können. Dann werden die Coordinaten x und y der Hauptknotenlinien, welche auf der Membran Statt finden können, für den Ton, welcher den Werthen m und n in Formel (38) Seite 285 entspricht, durch folgende Gleichung bestimmt, worin Anfang und Axen der Coordinaten wie vorhin angenommen sind.

*) So entspricht, wie weiterhin erörtert wird, den sämmtlichen Knotenlinien, welche von Fig. 43 bis Fig. 48 verzeichnet sind, derselbe Ton.

**) Bei quadratischen Membranen fallen sie in die Ränder selbst.

$$A \sin \frac{m\pi x}{e\zeta} \sin \frac{n\pi y}{e'\zeta} + B \sin. \frac{n\pi x}{e'\zeta} \sin \frac{m\pi y}{e\zeta} = 0 \qquad (a)$$

Diese Gleichung ist, je nach den verschiedenen Werthen, die A und B durch die verschiedenen anfänglichen Erschütterungsarten erlangen können, eigentlich unendlich vielen verschiedenen Gleichungen äquivalent.

Poisson hat die einzelnen Knotenlinien, die sich nach dieser Gleichung ergeben, nicht weiter abgeleitet. Diese Ableitung hat übrigens keine große Schwierigkeit, und ich will einige Beispiele derselben für die tiefsten Töne einer quadratischen Membran hier mittheilen. Für eine solche Membran können wir, indem wir die Seite derselben als Längeneinheit annehmen, setzen:

$$l = 1\zeta = 1,\ b = 1\zeta = 1,\ e = 1,\ e' = 1$$

wodurch sich obige Gleichung in folgende verwandelt:

$$A \sin. m\pi x \sin. n\pi y + B \sin. n\pi x \sin. m\pi y = 0 \qquad (b)$$

Leiten wir hieraus die Knotenlinien für folgende vier Fälle ab:

Erster Fall $m = 1,\ n = 1$ (Grundton)
Zweiter Fall $m = 1,\ n = 2$
Dritter Fall $m = 1,\ n = 3$
Vierter Fall $m = 2,\ n = 2$

Die Axe der x sey in den Figuren (40) bis (48) stets der Seite a b, die Axe der y der Seite a d parallel; der Anfang der Coordinaten werde in der Ecke angenommen, wenn nichts andres bemerkt ist.

Erster Fall $m = 1,\ n = 1$. Für diesen Fall verwandelt sich die Gleichung (b) in:

$$(A + B) \sin \pi x \sin \pi y = 0 \qquad (c)$$

welche sich in die zwei Factoren

$$\sin \pi x = 0,\ \sin \pi y = 0$$

zerlegen läßt. Diese geben

$$\pi x = i\pi;\ \pi y = i'\pi$$

mithin $x = i;\ y = i'$

wo i, i' erwähntermaßen alle ganze Zahlen von 0 an bedeuten können. Da jedoch Werthe von i und i', die größer als 1 wären, nicht mehr innerhalb der Membran fallen würden, so erhellt, daß für den Grundton einer quadratischen Membran blos in den Rändern selbst Knotenlinien liegen.

Beschränken wir uns auch im Folgenden blos auf die Angabe derjenigen Lösungen, welche innerhalb der Membran fallen, da die andern keine realen Knotenlinien geben.

Zweiter Fall $m = 1,\ n = 2$. Für diesen Fall verwandelt sich die Formel (b) in:

$$A \sin \pi x \sin 2\pi y + B \sin 2\pi x \sin \pi y = 0$$

die durch gehörige Transformation*) in folgende übergeht:

$$(A \cos \pi x + B \cos \pi y) \sin \pi x \sin \pi y = 0 \qquad (d)$$

*) Es ist nämlich wie bekannt: $\sin 2a = 2 \sin a \cos a$.

Diese Gleichung läßt sich in die drei Factoren zerlegen:

$$\sin \pi x = 0; \ \sin \pi y = 0 \qquad (e)$$

$$(A \cos \pi x + B \cos \pi y) = 0 \qquad (f)$$

Die beiden ersten Factoren geben wie vorhin

$$x = i; \ y = i'$$

Was den dritten Factor anlangt, so kann er unendlich viele verschiedene Knotenlinien bezeichnen, je nach dem Verhältniß der Werthe, welche A und B zu einander haben. Gesetzt man hat $A = + B$, so wird die Gleichung (f) zu folgender:

$$\cos \pi x = - \cos \pi y$$

welche blos folgende, innerhalb der Membran fallende, Lösung zuläßt:

$$x = 1 - y$$

Solchergestalt erhält man als Knotenlinie eine gerade Diagonale, die in Fig. 40 verzeichnet ist. Setzt man $A = - B$, so erhält man nach derselben Herleitung die in Fig. 41 verzeichnete Diagonale als Knotenlinie. Setzen wir jetzt A und B ungleich, so erhalten wir statt gerader Linien Curven, deren Beschaffenheit wir jetzt erforschen wollen.

Zuvörderst erhellt leicht, daß, wenn man sich die Membran durch ein durch den Mittelpunkt gehendes, den Seiten paralleles Kreuz in 4 Quadrate getheilt denkt, die Linien dieses Kreuzes nirgends anders als in ihrem Kreuzungspunkte k (Fig. 42) von der Curve geschnitten werden; denn für $x = \frac{1}{2}$ findet man den einzigen Werth $y = \frac{1}{2}$ und umgekehrt.

Betrachten wir jetzt zuvörderst den Fall, wo $A < B$ und wo beide gleiches Vorzeichen haben.

In diesem Falle werden die Seiten a b und c d Fig. 42 nirgends von einem Curvenzweige geschnitten; die Seiten a d und b c aber jede blos einmal.

In der That, bezeichnet man mit $\alpha$ den kleinsten Bogen, der einem Cosinus $= - \frac{A}{B}$ zugehört, so daß mithin $\alpha < \pi; > \frac{\pi}{2}$; so hat man für $x = 0$

$$y = \frac{2 i \pi \pm \alpha}{\pi}$$

Da nun jeder andre Werth von i als Null, $y > 1$ geben würde, so erhellt, daß blos der einzige Werth

$$y = + \frac{\alpha}{\pi}$$

innerhalb des Randes fällt. Ferner erhellt leicht, daß die Werthe von x welche $y = 0$ oder $y = 1$ entsprechen, durch die Bögen oder den Bogen welcher dem Cosinus $= \mp \frac{B}{A}$ zugehören würde, bestimmt werden würden da aber $\frac{B}{A} > 1$, so gehört dieser Cosinus zu den unmöglichen. Mithin kann die Seite a b so wie c d nirgends von der Curve geschnitten werden

Daß auch die Seite bc blos Einmal von der Curve geschnitten wird, findet man, indem man in Gleichung (f) setzt x = 1. Dann hat man

$$y = \frac{2i\pi \pm \alpha'}{\pi}$$

wenn $\alpha'$ den kleinsten Bogen bedeutet, der dem Cosinus $+\frac{A}{B}$ zugehört, wo wiederum nur der Werth

$$y = +\frac{\alpha'}{\pi}$$

innerhalb der Seite bc fällt. Nun ist, wie sich leicht ergiebt

$$\frac{\alpha'}{\pi} = 1 - \frac{\alpha}{\pi}$$

mithin liegt der Durchschnittspunkt der Curve in ad eben so weit von a als in bc von c entfernt. Endlich ergiebt sich daraus, daß $\alpha$ ein Bogen ist, welcher einem negativen Cosinus zugehört, daß die Linie ad zwischen c' und d, die Linie bc zwischen b und d' von der Curve geschnitten wird. Die Curve selbst wird sich leicht construiren lassen, wenn wir sie in Bezug auf x oder y auflösen.

Verlegen wir den Anfang der Coordinaten in die Mitte der Scheibe, indem wir in (f) für x und y respectiv substituiren $x + \frac{1}{2}$ und $y + \frac{1}{2}$, so ergiebt sich folgende Gleichung:

$$-\sin \pi x = \frac{B}{A} \sin \pi y \qquad (g)$$

die in Bezug zu x aufgelöst, blos folgende innerhalb der Membran fallende Lösung zuläßt.

$$x = -\frac{\alpha''}{\pi}$$

wo $\alpha''$ den kleinsten Bogen bedeutet, welcher einem Sinus $= \frac{B}{A} \sin \pi y$ entspricht. Es erhellt aus dieser Gleichung, daß die Curve symmetrisch in Bezug zu den Linien a' b', c' d' ist, oder daß die Mitte der Scheibe zugleich der Mittelpunkt der Curve ist, da ihre Gleichung sich nicht ändert, wenn man zugleich das Vorzeichen von x und y ändert.

Da man in Gleichung (g) für

$$\pm x = \pm y$$

stets blos den einzigen Werth Null findet, so erhellt hieraus, daß die Curve die Diagonalen nirgends anders als im Mittelpunkte schneidet.

Man kann ferner leicht durch die bekannten Regeln, welche die Differenzialrechnung an die Hand giebt *), finden, daß die Curve oder ihre Tan-

*) Man findet aus Gleichung (g) mittelst gehöriger Transformationen:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{A}{B} \frac{\cos \pi x}{\cos \pi y}$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{\pi A (B^2 - A^2) \sin \pi x}{B^3 \cos^3 \pi y}$$

gente in k einen Winkel, dessen Tangente $= - \frac{A}{B}$ ist, mit der Axe der x macht, daß sie die Linien a d und b c senkrecht schneidet, und daß sie überall concav gegen die Linie c′ d′ (Fig. 42) ist.

Endlich, wenn man den Anfang der Coordinaten nach $\varepsilon$ verlegt, indem man in (f) für y substituirt $y + \frac{\alpha}{\pi}$, wodurch sich (f) verwandelt in

$$A \cos \pi x + B \cos (\pi y + \alpha) = 0$$

oder

$$A (\cos \pi x - \cos \pi y) - \sqrt{B^2 - A^2} \sin \pi y = 0$$

dann die Cosinus und Sinus nach den Potenzen der Bogen entwickelt, mit Vernachlässigung derer, welche die zweite übersteigen, so findet man

$$x^2 - y^2 = \frac{2y \sqrt{B^2 - A^2}}{\pi A}$$

wonach die Curve in der Nähe von $\varepsilon$ nahe mit einer gleichseitigen Hyperbel übereinkommt, deren Scheitel sich in $\varepsilon$ findet und deren große Axe $= \frac{2 \sqrt{B^2 - A^2}}{\pi A}$ in die Richtung der Linie a d fällt. Ein analoges Ergebniß erhält man für den Punkt $\gamma$.

Solchergestalt erhält die Figur die in Fig. 42 vorgestellte Gestalt *), wo jedoch je nach den relativen Werthen von A und B der Punkt $\varepsilon$ seine Lage zwischen c′ und d, der Punkt $\gamma$ zwischen d′ und b ändern kann. Je näher der Werth von A dem Werthe von B kommt, um so näher fällt der Punkt $\varepsilon$ an d und $\gamma$ an b; je kleiner dagegen A gegen B wird, um so näher fällt $\varepsilon$ an c′, $\gamma$ an d′. In beiden Gränzfällen wird die Curve zu einer Geraden; im ersten zu einer Diagonale d b, im zweiten zu der Linie c′ d′.

Durch dieselbe Herleitung findet man, daß die Fälle, wo A und B ungleiches Vorzeichen habe, und wo $B < A$ ist, sich von dem vorigen bloß durch die verschiedene Lage der Curve unterscheiden, so daß im Ganzen 4 Lagen derselben Curve möglich sind (wie sich auch leicht a priori voraussehen ließ), welche folgenden 4 Fällen entsprechen:

$A < B$; gleiches Vorzeichen.
$A < B$; ungleiches Vorzeichen.
$A > B$; gleiches Vorzeichen.
$A > B$; ungleiches Vorzeichen.

Für den dritten Fall, $m = 1$, $n = 3$. Man findet hier nach gehöriger Transformation die drei Factoren:

$$\sin \pi x = 0 \quad \sin \pi y = 0$$

$$A (2 \cos 2\pi x + 1) + B (2 \cos 2\pi y + 1) = 0$$

Erörtern wir die Figuren (43 bis 48), die sich aus dem letzten Factor für

*) Blos die ausgezogenen Linien dienen zur Bezeichnung der Klangfigur, die punktirten Linien sind blos der Orientirung halber verzeichnet.

die verschiedenen Verhältnisse von A und B ergeben, und verlegen hierbei den Anfang der Coordinaten nach der Mitte der Membran, wodurch der dritte Factor sich in folgenden verwandelt.

$$A(1-2\cos 2\pi x) + B(1-2\cos 2\pi y) = 0$$

Allgemeine Ergebnisse dieser Formel sind zufolge einer der vorigen analogen Herleitung:

a) Der Mittelpunkt der Membran ist auch der Mittelpunkt der Curve.

b) Es geht kein Zweig durch den Mittelpunkt, außer im Falle $A=-B$, wo sich die Curve in ein diagonales Kreuz (Fig. 43) verwandelt.

c) Im Fall der numerische Werth von A kleiner als der von B ist, werden die Seiten ab und dc, im umgekehrten Falle die Seiten ad, bc gar nicht von der Curve geschnitten.

d) Im Fall das Vorzeichen von A und B ungleich ist, fallen die Durchschnittspunkte der Curvenzweige mit den Seiten stets außerhalb des mittlern Drittheils der Seite; im Fall das Vorzeichen gleich ist, stets innerhalb des mittlern Drittheils; ist aber das Vorzeichen beider gleich und der größere der beiden Coefficienten A, B kleiner als das Dreifache des andern, so wird gar keine Seite von der Curve geschnitten, die dann geschlossen ist (wie z. B. in Fig. 44).

e) Die Seiten werden stets senkrecht von den Curvenzweigen geschnitten, außer in dem Falle (Fig. 46), wo zwei Zweige in einem Punkte der Seite zusammentreffen.

f) Das Stück der Diagonale der Membran (z. B. $\zeta\varepsilon$ in Fig. 44, $\varepsilon\eta$ in Fig. 46 u. s. f.), welches zwischen zwei Curvenzweigen befaßt ist, beträgt in allen Fällen $\frac{1}{3}$ der ganzen Diagonale.

Betrachten wir jetzt einige einzelne Fälle.

1) $A=-B$

Der dritte Factor geht hier über in

$$\cos 2\pi x = \cos 2\pi y$$

welches zweien sich im Mittelpunkte kreuzenden Diagonalen (Fig. 43) entspricht.

2) $A = B$

$$1 - \cos 2\pi x - \cos 2\pi y = 0$$

Curve $\alpha\beta\delta\gamma$ Fig. (44), symmetrisch um den Mittelpunkt; hat bei $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, $\delta$ eine parabolische Krümmung, deren Parameter $= \frac{1}{\pi}$, der Durchmesser $\alpha\delta$ oder $\beta\gamma$ beträgt die Hälfte einer Seite der Membran; der Durchmesser $\varepsilon\zeta$ oder $\eta\vartheta$ das Drittheil einer Diagonale der Membran. Die Curve ist überall concav gegen $\beta'\gamma'$

3) A verschwindend gegen B

$$\cos 2\pi y = \tfrac{1}{2}$$

Zwei Parallellinien (Fig. 45), durch welche die Membran in drei gleiche Rechtecke getheilt wird.

4) $B = 3A$

$$2 - \cos 2\pi x - 3\cos 2\pi y = 0$$

Die Curve $\alpha\beta\delta\gamma$ in Fig. (46) hat bei $\alpha$ und $\delta$ hyperbolische Krümmung, ist bei $\beta$ und $\gamma$ gerade. Der Durchmesser $\alpha\delta$ beträgt ziemlich $\frac{2}{5}$ (genauer 0,392856) einer Seite der Membran; der Durchmesser $\varepsilon\eta$ oder $\zeta\vartheta$ genau $\frac{1}{2}$ einer Diagonale. Bei $\beta$ und $\gamma$ beträgt die Neigung der Curve gegen $\beta\gamma$ 30°, bei $\varepsilon$ und $\zeta$ 18° 34′ oder die Tangenten der Neigungen sind respectiv $\pm\sqrt{\frac{1}{3}}$ und $\pm\frac{1}{3}$.

5) $B = -3A$

$$3\cos 2\pi y = 1 + \cos 2\pi x$$

Die Curve $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ in Fig. (47). Bei $\varepsilon$ und $\beta$ hyperbolische Krümmung, bei $\alpha, \delta, \zeta, \gamma$ parabolische Krümmung mit einem Parameter $= \frac{3}{\pi}$; $\varepsilon\beta = 0{,}26782$ einer Seite der Membran, $\delta\alpha$ oder $\zeta\gamma =$ der Hälfte einer Seite der Membran; $\eta\vartheta = \frac{1}{3}$ der Diagonale; die Neigung der Curve bei $\eta$ und $\vartheta$ gegen die Axe der $x =$ 18° 34′. Für $x = \frac{1}{2}$ ist $y = 0{,}223$.

6) $B = 10A$

$$11 - 2\cos 2\pi x - 20\cos 2\pi y = 0$$

Die Curve $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ in Fig. (48). Bei $\varepsilon$ und $\beta$ elliptische, bei $\alpha, \delta, \zeta, \gamma$ hyperbolische Krümmung. $\varepsilon\beta = 0{,}3508$ einer Seite. $\alpha\delta = \zeta\gamma = 0{,}2752$ einer Seite. Die Neigung der Curve da, wo sie die Diagonale schneidet, gegen die Axe der x 5° 42′.

Für den vierten Fall, $m = 2$, $n = 2$. Für diesen Fall wandelt sich die Gleichung (b) in

$$(A + B)\sin 2\pi x \sin 2\pi y = 0$$

Mithin hat man blos die beiden Factoren:

$$\sin 2\pi x = 0;\ \sin 2\pi y = 0, \text{ d. i.}$$

$$x = \frac{i}{2};\quad y = \frac{i'}{2}$$

woraus ein Kreuz durch die Mitte der Scheibe folgt.

Auf ähnliche Weise wird man leicht die einfachern Klangfiguren für rechteckige Membranen bestimmen können, deren Seiten ungleich aber commensurabel sind.

## Messungen von Klangfiguren auf quadratischen Scheiben von Strehlke *).

Für quadratische oder rechteckige starre Scheiben hat Poisson die Klangfiguren bis jetzt noch nicht hergeleitet. Dagegen besitzen wir von Strehlke erfahrungsmäßige Messungen über diese Klangfiguren. Derselbe fand, indem er die Coordinatenverhältnisse von Klangfiguren, die mit großer Sorgfalt auf quadratischen Scheiben hervorgebracht waren, bestimmte, daß diese Verhältnisse bei den einfachern Figuren so beschaffen sind, daß eine

*) Pogg. XVIII. 198.

hyperbolische oder elliptische Gestalt daraus hervorgeht *), und was die complexeren Figuren betrifft, welche nicht als einfache Kegelschnitte erscheinen, so schien es nach den Messungen von Strehlke, die derselbe jedoch in diesem Bezuge noch weiter auszudehnen verspricht, daß dieselben sich als Zusammensetzungen von Kegelschnitten betrachten lassen, wie denn z. B. die gebogenen Linien Fig. 49 dadurch zu entstehen scheinen, daß bei geeigneter Unterstützung der Scheibe die einfache Hyberbel der Fig. 50 sich nochmals wiederholt und diese partiellen Hyperbeln mit ihren Endpunkten sich an einander fügen.

Strehlke hat die Zahlencoefficienten der Gleichungen für mehrere von ihm untersuchte Figuren aus seinen Messungen der Coordinaten abgeleitet und angeführt. Wir begnügen uns hier, ein Beispiel auszuheben.

Die Scheiben waren auf die S. 292 angegebene Weise durch Holzstäbchen oder die Finger unterstützt, und es wurden im übrigen die ebendaselbst angegebenen Maßregeln befolgt. Strehlke hält seine Messungen unter den günstigsten Umständen, welche dabei vorkamen, etwa bis auf $\frac{1}{10}$ Lin. genau.

Eine der einfachsten Klangfiguren, welche man auf einer Quadratscheibe erhalten kann, ist die in Fig. 50 abgebildete. Man erhält dieselbe, wenn man 3 oder 4 Ecken des Quadrats unterstützt, und die Mitte einer beliebigen Seite desselben in Schwingung versetzt **). Auf solche Weise erhält man auf allen regelmäßigen quadratischen Scheiben von Metall oder Glas eine aus 2 Zweigen bestehende gewöhnliche Hyperbel, deren Asymptoten mit der Hauptaxe einen Winkel größer als 45° einschließen. Die Lage der Hauptaxe dieser Hyperbel läßt sich nicht voraus bestimmen, da sie entweder der Seite CD oder CE parallel ist ***). In Fig. 50 ist vorausgesetzt, daß diese Axe die Richtung der Linie AB habe. Es folgen jetzt 3 Reihen von Messungen, welche über die erwähnte Schwingungsart auf zwei Scheiben von Messing und einer Scheibe von Kupfer angestellt wurden. Auf allen drei Scheiben halbirte die Hauptaxe der Curve die darauf senkrechten Ordinaten so genau, daß sich keine erhebliche Abweichung wahrnehmen ließ.

*) Es dürfte wohl hier, wie bei den Membranen, blos eine Annäherung Statt finden, die sich jedoch vielleicht weiter als dort erstreckt. F.

**) Strehlke legt die Scheibe gewöhnlich so, daß B auf den Daumen, C auf den Zeigefinger, D auf den fünften Finger der linken Hand zu liegen kommt, und streicht mit dem Violinbogen in der Mitte der Seite DF, vorausgesetzt, daß die Scheibe wie in der Figur vorliegt.

***) Die zu den Messungen dienenden, den Seiten des Quadrats parallelen Linien, welche bis auf eine geringe Tiefe in die Scheibe geritzt wurden, haben keinen Einfluß auf die Lage der Hyperbel, diese hängt vielmehr von der Anordnung des innern Gefüges der Scheibe ab. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man, noch ehe die Linien auf der Scheibe gezogen sind, die Lage der Hauptaxe der Hyperbel durch zwei Punkte am Rande der Scheibe bemerkt und dann erst die Linien zieht. In welcher Richtung auch die Linien auf der Scheibe gezogen werden, immer nimmt die nun hervorgebrachte Hyperbel die zuerst beobachtete Lage an.

Zum Anfangspunkte der Coordinaten wurde der Punkt B (Fig. 50) gewählt, und unter der Voraussetzung, daß die Curve ein Kegelschnitt sey, dessen Gleichung

$$y^2 = px + qx^2,$$

sind die wahrscheinlichsten Werthe der Coefficienten p und q nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt.

Messungen auf einer Quadratscheibe von Messing, 34,3 par. Lin. lang $1'''$,1 dick.

Die aus den gemessenen Werthen der Coordinaten abgeleitete Gleichung war:

$$y^2 = 1{,}0836 \,.\, x\,(x + 6''',27)$$

mit folgender Übereinstimmung der beobachteten und berechneten Werthe von y

| Beobachtet x | Beobachtet y | Berechnet. y | Differenz. |
|---|---|---|---|
| 1,05 | 2,94 | 2,89 | +0''',05 |
| 1,72 | 3,88 | 3,86 | +0 ,02 |
| 2,99 | 5,43 | 5,48 | −0 ,05 |
| 4,43 | 7,15 | 7,18 | −0 ,03 |
| 5,71 | 8,64 | 8,61 | +0 ,03 |
| 9,20 | 12,41 | 12,42 | −0 ,01 |

Da die Messungen selbst nur etwa bis auf $\frac{1}{20}'''$ genau sind, so kann man die Übereinstimmung zwischen der Rechnung und der Beobachtung vollständig nennen.

Aus der oben angeführten Gleichung folgt der Abstand der beiden Scheitelpunkte = 6''',27. Die directe Messung ergab 6,'''25, und, als dieselbe Figur noch zweimal, jedesmal mit neuem Stande, wiederhervorgebracht ward, 6''',26 und 6''',24.

Die angewandte Scheibe von Messing wurde nun mehreremale abgeschliffen, um wahrzunehmen, welche Veränderungen diese Operation in der Lage der beobachteten Curve hervorbringen würde. Nachdem diese Scheibe wiederum mit den zur Messung nöthigen Linien versehen worden, ergab sich folgende Gleichung für den durch den Scheitelpunkt B gehenden Theil der Hyperbel:

$$y^2 = 1{,}1032 \,.\, x \,.\, (x + 6''',228).$$

Die Übereinstimmung der berechneten mit den beobachteten Werthen von y ersieht man aus folgender Zusammenstellung.

| Beobachtet. | | Berechnet. | Differenz. |
|---|---|---|---|
| x | y | y | |
| 0,66 | 2,33 | 2,24 | +0,09 |
| 1,39 | 3,46 | 3,42 | +0,04 |
| 2,16 | 4,52 | 4,47 | +0,05 |
| 2,88 | 5,46 | 5,38 | +0,08 |
| 3,77 | 6,37 | 6,45 | —0,08 |
| 4,60 | 7,45 | 7,41 | +0,04 |
| 6,29 | 9,25 | 9,32 | —0,07 |
| 8,75 | 12,05 | 12,03 | +0,02 |

Man sieht aus den erhaltenen Gleichungen, daß durch das Abschleifen keine bedeutenden Änderungen in den Gang der Curve gekommen sind.

Scheinbar war der zweite durch den Scheitelpunkt A gehende Theil der Hyperbel dem zuerst erwähnten durch den Punkt B gehenden Theile vollkommen gleich. Um hierüber Gewißheit zu erhalten, stellte Strehlke auf diesem zweiten Zweige Messungen an, welche sich auf den Scheitelpunkt A als Anfangspunkt beziehen. Es ergab sich hieraus die Gleichung:

$$y^2 = 1{,}1627 \,.\, x \,.\, (x + 5''' {,} 379),$$

wobei folgende Übereinstimmung zwischen der Rechnung und Beobachtung Statt findet.

| Beobachtet | | Berechnet. | Differenz. |
|---|---|---|---|
| x | y | y | |
| 0,78 | 2,30 | 2,36 | —0,06 |
| 1,39 | 3,43 | 3,31 | +0,12 |
| 2,22 | 4,38 | 4,43 | —0,05 |
| 3,02 | 5,46 | 5,43 | +0,03 |
| 3,74 | 6,34 | 6,30 | +0,04 |
| 4,60 | 7,20 | 7,31 | —0,11 |
| 5,15 | 7,98 | 7,94 | +0,04 |
| 8,48 | 11,69 | 11,69 | +0,00 |

Es ergiebt sich hieraus, daß auf der zweiten Hälfte dieser Scheibe die Elasticität eine andre wie auf der ersten Hälfte seyn mußte. Man findet aber auch Scheiben, wo dieselbe auf beiden Theilen fast dieselbe ist, wie sich dieß aus Messungen Strehlke's auf andern Scheiben ergab.

# VI. Musikalische Instrumente.

## (Äolsharfe, Gender, Maultrommel, Zungenpfeifen.)

### Über die Töne der Äolsharfe von Pellisow *).

Pellisow hat durch Versuche mit der Äolsharfe folgende Punkte ausgemittelt:

1) Berührt man die Saite einer Äolsharfe, während sie im Winde einen gewissen Ton gibt, leise in einem ihrer natürlichen Schwingungsknoten, so wird der Ton dadurch nicht gestört, dagegen er sogleich verschwindet, wenn man die Stelle der Berührung nur um ein Weniges verrückt.

2) Dessenungeachtet aber theilt sich eine Saite, die ohne alle Berührung der Wirkung des Windes ausgesetzt ist, nie in aliquote Theile, ungeachtet der verschiedenen Töne, die sie unter dem Einfluß desselben hervorzubringen vermag.

3) Die Töne, welche die Saite einer Äolsharfe bei gleichbleibender Spannung liefert, kommen auch nicht mit der Reihenfolge derer überein, die sie durch eine Theilung in aliquote Theile geben könnte.

4) Ihre Höhe, d. h. die Schwingungszahl, die ihnen entspricht, steht vielmehr, so weit aus den unvollkommenen Beobachtungsmitteln geschlossen werden kann, nahe im Verhältniß der Schnelligkeit des Windes, unter dessen Einfluß die Töne entstehen.

5) Die Töne der Äolsharfe erklingen ganz rein ohne alle mitklingende Nebentöne.

6) Der Luftstrom braucht zur Hervorbringung der Äolstöne nicht nothwendig die Breite der Saite zu haben, die vielmehr zum Theil dagegen geschützt seyn kann; auch ist es völlig einerlei, welchen Saitentheil der Luftstrom trifft, nur fallen die Töne verhältnißmäßig um so niedriger aus, je kleiner der Theil ist, der vom Winde getroffen wird.

7) Bei allen durch den Stoß der Luft erregten Äolstönen ist durchaus keine durch Instrumente meßbare Transversalschwingung zu bemerken, wenn selbst der Ton so intensiv ist, daß er durch zwei wohlverschlossene Zimmer gehört werden kann.

Es leuchtet nach diesen erfahrungsmäßigen Umständen, wozu die nähern Belege unten folgen sollen, ein, daß die Entstehung der Äolstöne nicht durch gewöhnliche transversale oder longitudinale Schwingungen der ganzen Saite oder aliquoter Theile derselben erklärlich werden, auch hat Pellisow zur Widerlegung dieser, früher von Young (Gilb. Ann. X. St. 1. Jahrg. 1802) ausgesprochenen Ansicht noch besondere Erörterungen hinzugefügt. Er selbst erklärt nach der S. 256 angegebenen Ansicht

*) Pogg. XIX. S. 237.

die Töne der Äolsharfe aus Molecularschwingungen der Saite, die durch rasch auf einander folgende Stöße, die ihr der Wind ertheilt, hervorgebracht werden, und stellt den Vorgang dabei in folgender Art dar:

„Wenn wir die Saite unserer Äolsharfe in dem Augenblicke denken, in welchem ein Windstoß sie trifft, und uns noch überdieß die in ihrer ganzen Länge zugleich gestoßene Saite als einen Conflict sphärischer Körper vorstellen, so wird erstens der Stoß nicht nöthig haben, von einem Punkte der Saite aus ihre ganze Länge so lange vorwärts und rückwärts zu durchlaufen, bis immer ein gleich großer sogenannter Wellenberg einem gleich großen Wellenthale begegnet, sondern es wird eine sogenannte stehende Schwingung im Augenblicke des Stoßes erscheinen. Überhaupt verhalten sich der Windstoß und die Saite zu einander wie ein bewegter elastischer Körper zu einem unbeweglichen elastischen Hindernisse. Nach dem Stoße würden die anstoßenden Lufttheilchen nahe mit der Geschwindigkeit zurückgehen, mit welcher sie die Saite trafen; aber sie werden von den nachfolgenden Luftstößen verdrängt und gezwungen zu beiden Seiten der Saite auszuweichen, während im zweiten Zeittheilchen ein neuer Antheil Luft die Saite stößt, und die nämliche Wirkung wieder hervorbringen muß. Auf solche Weise übt der continuirliche Luftstrom eine Reihe von Stößen auf die Saite aus, welche dadurch, wie durch den leisen Bogenstrich (S. 253) in ihren Moleculartheilchen in Longitudinalschwingungen versetzt und zum Tönen gebracht wird."

Ich lasse jetzt die nähern Belege zu den oben angeführten Sätzen folgen

Zu 1). Pellisow befestigte zwischen die, zwei Schuh von einander entfernten, Stege der Äolsharfe einen in gleiche Theile getheilten, eben so langen Maßstab, auf welchem den jedem Äolstone zugehörigen aliquoten Theil der Saite ein Vernier maß, der ein auf ihm senkrecht stehendes schmales Blättchen von Elfenbein trug, welches mit seiner schmalen Kante die Saite jedesmal in jenem aliquoten Theile leise berührte, den der Vernier unten auf dem Maßstabe angab. Das auf diese Weise vorgerichtete Instrument wurde dem Winde ausgesetzt und der Vernier nach Maßgabe des erscheinenden Tons auf den demselben entsprechenden Theilstrich gebracht. Der Ton wurde auf diese Weise nicht gestört, während er nach Verrückung des Verniers auch nur um den 10ten Theil einer Linie sogleich verschwand.

Zu 2). Pellisow schützte die obere Hälfte der dem Winde ausgesetzten Äolsharfe vor seiner Einwirkung, und hing sehr feine Hebel aus leichten Rohrstreifchen an feinen Fäden ungesponnener Seide in der Art auf, daß sie mit ihrem einen Ende in Ruhe, alle möglichen durch einen Windstoß entstehenden Schwingungsknoten der bedeckten Hälfte der Saite berührten, und durch ihre Ruhe oder ihre Oscillationen das Erscheinen derselben, oder die gänzliche Abwesenheit der Schwingungsknoten nothwendig anzeigen mußten. Die Hebel sammt ihren Fäden wurden durch einen Glaskasten sorgfältig vor der Berührung des Windes geschützt, und hierauf die freie

Hälfte der Saite dem Winde ausgesetzt. Sobald die Saite zu tönen anfing, entfernten sich die Hebel alle von der Saite und geriethen in Schwingung, schneller oder langsamer, in größeren oder kleineren Bögen; nie aber wollte es gelingen, auch nur einen Hebel auf irgend einem Schwingungsknoten in Ruhe zu erhalten, man mochte die berührende Spitze des Hebels auch in die verschiedenartigsten Formen bringen; ausgenommen es wurde die Saite an einem ihrer Schwingungsknoten leise berührt, und dann erschienen, aber auch nur unter besondern Umständen, die übrigen dem ersten entsprechenden Schwingungsknoten, welche sich durch Ruhe der dort anliegenden Hebelarme oder wenigstens durch einen kleinern Schwingungsbogen derselben verriethen.

Zu 3) und 5). Mittelst eines geeigneten Anemometers *) bestimmte Pellisow die jedesmalige Schnelligkeit des Windes, die beim Erscheinen eines Tones der, blos noch mit Einer Saite (von 2 Schuh Länge, 0,02 Schuh Dicke, ins g gestimmt) bespannten Äolsharfe Statt fand. Bei einer Geschwindigkeit des Windes von 5,99 Fuß in der Secunde erschien der Grundton der Saite g und zwar so rein und ohne alle mitklingenden Nebentöne, die bei jeder gewöhnlichen Art, die Töne zu erregen, mit dem Grundtone immer zugleich erscheinen, daß ein ungeübtes Ohr, welches ihn mit dem entsprechenden Tone des Pianoforte verglich, ihn anfangs um eine ganze Octave tiefer hielt. Sobald die Schnelligkeit des Windes auf 9,24 Fuß stieg, erschien die Quinte des Grundtons eben so rein und bestimmt ohne mitklingende höhere Octave u. s. f. — Dieses Erscheinen der Quinte nun ist aus den Schwingungen aliquoter Theile der Saite nicht erklärlich; denn es müßten, um sie hervorzubringen, ⅔ ihrer Länge schwingen, und das dritte Drittheil der Saite müßte dann die höhere Octave der Quinte geben: bekanntlich aber können zwei solche Schwingungen an einer und der nämlichen Saite nicht zugleich bestehen.

Zu 4). Es wurden überhaupt bei nachfolgenden Geschwindigkeiten des Windes folgende Töne beobachtet:

*) Dies Anemometer bestand in einem, an feinen Seidenfäden in der Art aufgehangenen Parallelogramm (Windflügel), daß die Richtung des Windstoßes senkrecht darauf war. Aus den (an einem zur Seite angebrachten Gradbogen abzulesenden) Graden der Elevation dieses Parallelogramms läßt sich die Schnelligkeit des Windes berechnen (vgl. Pogg. Ann. XIX. S. 246).

| Grade der Elevation des Anemometers. | Geschwindigkeit des Windes. | Äolstöne. | Schwingungszahlen. | Aliquote Saitentheile. |
|---|---|---|---|---|
| 5° | 5,99 | g | 191,8 | 1 |
| 10 | 9,24 | $\bar{d}$ | 255,6 | $\frac{2}{3}$ |
| 15 | 11,20 | $\bar{g}$ | 283,6 | $\frac{1}{2}$ |
| 20 | 13,24 | $\bar{h}$ | 450,0 | $\frac{2}{5}$ |
| 25 | 15,28 | $\bar{\bar{d}}$ | 511,2 | $\frac{1}{3}$ |
| 30 | 17,48 | $\bar{\bar{f}}$ | 609,8 | $\frac{64}{243}$ |
| 35 | 19,78 | $\bar{\bar{g}}$ | 767,2 | $\frac{1}{4}$ |
| 40 | 22,44 | $\bar{\bar{a}}$ | 774,8 | $\frac{2}{9}$ |

Wie man sieht, ist die Höhe des jedesmal erscheinenden Tones so ziemlich der Schnelle des Luftstroms proportional.

Pellisow bemerkt hierbei, daß diese Resultate die Frucht zahlreicher Beobachtungen seyen; denn es ist mit ziemlichen Schwierigkeiten verknüpft, den jedem Tone entsprechenden Winkel des Anemometerflügels im Augenblicke seines Entstehens mit der gehörigen Genauigkeit abzulesen, da nicht blos die Art des Windes, sondern die absolute Spannung der Luft selbst wesentlichen Einfluß auf die Bildung der Töne hat. Ist jedoch einmal der Winkel des Flügels bekannt, unter welchem die Saite ihren Grundton angiebt, so befolgen die Winkel, unter welchen die übrigen Töne erscheinen, immer ihr ursprüngliches oben bemerktes Verhältniß, so daß man, wenn man sich eine gewisse Fertigkeit in Beobachtung des Anemometers erworben hat, aus dem Stande desselben jeden Ton, der eben diesem Stande entspricht, genau voraus bestimmen kann. Der Ton wird unter diesen Umständen sogleich erscheinen, aber auch sogleich wieder aufhören, sobald der Anemometerflügel seinen Stand verändert und nur dann wieder erscheinen, wenn der Ton den diesem Flügel zugehörigen Winkel bildet.

Noch bemerkt Pellisow, daß, der Windflügel mochte durch die Gewalt des Luftstoßes auf irgend eine beliebige Höhe gehoben werden, doch während seines Steigens so lange kein Ton erschien, bis er das Maximum seiner Höhe für den Augenblick erreicht hatte; beim Zurücksinken des Flügels hingegen, das eine viel längere Zeit als seine Erhebung nöthig hatte, erschienen die Töne höherer Ordnung absteigend und dem jedesmaligen Grade genau entsprechend, auf welchem sich der Flügel in dem Augenblicke befand.

Zu 6). Pellisow erwähnt, daß man die Breite des Luftstroms, der die Äolssaite treffe, selbst bis auf $\frac{1}{4}$ beschränken könne, unbeschadet ihrer Fähigkeit, Töne hervorzubringen, daß es völlig einerlei sey, auf welchen Saitentheil dieser Luftstrom treffe, und daß die Winkel, unter welchen bei

so beschränktem Luftstrome die Töne erscheinen, sich umgekehrt wie die Breiten des Luftstromes verhalten.

Zu 7). Nicht nur mit Augen ist während des Tönens der Äolsfaite keine Transversalschwingung wahrnehmbar, sondern gegen das Statthaben derselben spricht auch folgender Versuch: Pellisow brachte die Saite zwischen zwei Mikrometerschrauben, deren Spitzen nur mehr (?) um $\frac{1}{1000}$ Theil eines Zolles entfernt waren, und setzte sie so dem Winde aus; allein die Töne erschienen ungestört und verschwanden erst bei unmittelbarer Berührung der Saite durch die Schraubenspitzen.

## Theorie der Maultrommel *).

Die Theorie der Maultrommel gründet sich auf den Satz (S. 261), daß eine durch Mittheilung schwingende Luftsäule nicht isochronisch mit dem selbsttönenden Körper zu schwingen braucht, sondern daß die Zahl ihrer Schwingungen auch ein Multiplum von der Zahl der Schwingungen des selbsttönenden Körpers seyn kann. Das Nähere wird aus Folgendem erhellen.

Die Maultrommel besteht aus einer elastischen Stahlzunge, mit dem einen Ende an einen messingenen oder eisernen Rahmen genietet. Das freie Ende der Zunge ist nach auswärts unter einem rechten Winkel gebogen, um dem Finger leicht zu verstatten, wenn es in den Mund gesteckt und mit den beiden parallelen Enden des Rahmens fest an die Zähne gedrückt wird, anzuschlagen. Die Schwingungen der Zunge selbst würden einen sehr tiefen Ton geben. Bringt man das Instrument aber in den Mund, und ändert durch verschiedene Bewegungen der Zunge und Lippen den innern Raum des Mundes: so wird, wenn die dem eingeschlossenen Luftraume zukommende Zahl von Schwingungen ein Multiplum von der Zahl der Schwingungen der selbsttönenden Zunge ist, der der Mundhöhle zukommende Ton gehört. Ist z. B. der Grundton der Zunge groß C, so können durch Mittheilung ihrer Schwingungen an den Luftraum im Munde folgende Töne entstehen:

Multipla der Grundschwingungen der Zunge:

$\overset{*}{1}$..$\overset{*}{2}$...3...$\overset{*}{4}$...5...6...7...$\overset{*}{8}$...9...10...11...12...13...14...15...$\overset{*}{16}$ ꝛc. $\overset{*}{32}$

Die entsprechenden Töne:

C c g $\bar{c}$ $\bar{e}$ $\bar{g}$ $\bar{b}$ $\bar{\bar{c}}$ $\bar{\bar{d}}$ $\bar{\bar{e}}$ $\bar{\bar{f}}+$ $\bar{\bar{g}}$ $\bar{\bar{a}}-$ $\bar{\bar{b}}$ $\bar{\bar{h}}$ $\bar{\bar{\bar{c}}}$ $\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}$

Bei den gewöhnlichen Maultrommeln können die drei ersten Töne der Reihe nicht hervorgebracht werden, weil die Höhlung im Munde für sie nicht weit genug gemacht werden kann.

Die obige Scale einer Maultrommel ist offenbar zu unvollständig und mangelhaft, um nur die einfachsten Melodien hervorzubringen; diesem Mangel kann jedoch durch Anwendung von zwei oder mehrern dieser Instru-

*) Wheatstone in Schweigg. J. LIII. 331.

mente abgeholfen werden. Der Verf. erwähnt z. B., daß ein Virtuos auf diesem Instrumente (Hr. Eulenstein) sich gleichzeitig der Tonreihen von 16 Maultrommeln bediene, und, indem er hiermit durch alle Tonarten zu moduliren vermöge, wahrhaft originelle und äußerst schöne Wirkungen hervorbringe.

### Gender *).

Dies ist ein Javanesisches Instrument, welches Stamford Raffles nach England gebracht hat, und welches sich dadurch auszeichnet, daß die Töne schwingender Metallplatten durch die Resonanz im Einklang befindlicher Luftsäulen verstärkt oder selbst erst hörbar gemacht werden.

Das Instrument enthält 11 solche Platten, deren Töne den Noten der diatonischen Tonleiter entsprechen, wo aber die vierte und siebente Stufe fehlen. Es umfaßt zwei Octaven. Die Platten sind (Fig. 51) neben einander horizontal (eine jede) an zwei Schnüren aufgehängt, von denen die eine allemal durch zwei Löcher der einen, die andre durch zwei Löcher der andern Querlinie geht, die man senkrecht auf die Länge der Platten verzeichnet sieht, und durch welche die Knotenlinien der Platten beim Schwingen bestimmt werden. Unter jeder Platte befindet sich ein aufrecht stehendes Bambusrohr, dessen innere Luftsäule eine solche Länge hat, daß sie einen Ton von gleicher Höhe mit dem Grundtone der Platte geben kann. Wird die Öffnung des Bambusrohres zugedeckt und die darüber befindliche Platte angeschlagen, so hört man blos mehrere hohe Töne, welche dadurch entstehen, daß die Platte in mehrere schwingende Unterabtheilungen zerfällt; nimmt man aber den Deckel von der Öffnung des Bambusrohres weg, so entsteht ein neuer tiefer voller Ton durch die Resonanz der Luftsäule in der Röhre.

### Von den Zungenpfeifen **).

**Allgemeine Einrichtung und Gesetze der Zungenpfeifen.** Eine Zungenpfeife ist ein aus zwei verschiedenen musikalischen Instrumenten (d. h. die jedes schon für sich Töne zu geben vermögen) zusammengesetztes Instrument. Das eine dieser Instrumente ist das sogenannte Mundstück (instrumentum linguatum, anche), das andre ist eine offene Röhre, die damit in Verbindung gesetzt wird.

Das Mundstück, in einer etwas vollkommenern Gestalt, als man ihm gewöhnlich zu geben pflegt, ist Fig. 52 vorgestellt ***).

*) Wheatstone in Schweigg. J. LIII. 329.

**) Nach den Untersuchungen von Weber in s. Dissertation: Leges oscillationis oriundae si duo corpora diversa celeritate oscillantia ita conjunguntur, ut oscillare non possint nisi simul et synchronice, exemplo illustratae tuborum linguatorum. 1827. — Ferner Pogg. Ann. XIV. 397. XVI. 193. 385. XVII. 241. — Da ich in Biot's Lehrbuch die Theorie der Zungenpfeifen aus Mißverständniß einer Stelle in Weber's Dissertation unrichtig dargestellt habe, so komme ich hier nochmals ganz von Neuem darauf zurück.

***) Auf ein Mundstück von dieser Einrichtung beziehen sich die nachfolgenden

**a b c d** ist ein messingener Cylinder, bestehend aus einer allenthalben gleich dicken, zusammengerollten Metallplatte. Diese Platte ist jedoch nicht so weit zusammengerollt, daß die Ränder von beiden Seiten zusammentråfen, sondern daß ein Zwischenraum von einigen Linien **a e k l** zwischen ihnen bleibt. Dies Intervall ist in seiner ganzen Långe mit einer ebenen Platte **m n k l** aus demselben Metall bedeckt, aber blos die eine Hälfte **k l g h** dieser Platte ist auf die Öffnung des Cylinders festgelöthet, während dagegen die andre **g h m n** frei ist, so daß sie, als eine bewegliche Fortsetzung der ersten befestigten Hälfte, frei in die Höhlung des Cylinders hinein- und hinausschwingen kann. Dieser bewegliche Theil **g h m n** heißt die Zunge. Durch eine schwache Biegung derselben ist bewirkt, daß ihr Rand **n m** im ruhenden Zustande etwas über der Öffnung des Mundstücks erhoben schwebt, so daß die Luft zwischen ihren Rändern und denen des Mundstücks eine Communication findet. Die Dimensionen der Zunge müssen, wenn das Instrument die möglichste Vollkommenheit besitzen soll, sorgsam so abgemessen werden, daß sie zwar das Loch genau zudecken, doch aber, ohne an seine Ränder anzustreifen, sich frei hinein- und herauszubewegen vermag. Am einen Ende ist das Mundstück mit dem Deckel **a e b c d** verschlossen, am andern aber offen, so daß der zwischen Zunge und Mundstück eintretenden Luft der Austritt in die Atmosphäre oder in eine Röhre verstattet ist, die man zur Hervorbringung der Zungenpfeife damit in Verbindung setzt.

Um nun mittelst dieses Mundstücks auf die einfachste Weise einen Ton hervorzubringen, kann man so verfahren, daß man den Theil des Mundstücks, an dem sich die Zunge befindet, unmittelbar in den Mund steckt, mit Vorsicht, daß seine Zunge nicht am freien Schwingen gehindert wird, und nun bläst; oder man kann auch der Mundhöhle einen hohlen Stiefel substituiren, in dessen obere Öffnung man das Mundstück mittelst eines Pfropfs, durch den es hindurchgeht, einsetzt, und durch dessen untere Öffnung man den Wind mittelst des Mundes oder eines Blasebalgs gegen das Mundstück bläst.

Zur Hervorbringung einer Zungenpfeife nun setzt man mit dem Mundstück eine offene Röhre in Verbindung, wie Fig. 53 zeigt, indem man das Ende f des Mundstücks in der einen Öffnung dieser Röhre befestigt, das andre Ende aber hervorragen läßt, so daß es in den Mund, wie die Figur zeigt, oder in einen Stiefel eintreten und solchergestalt darauf geblasen werden kann.

Geschieht nun solchergestalt das Anblasen, so wird zwischen dem freien Rande der Zunge, welcher im ruhigen Zustande etwas über der Öffnung erhoben ist, und dem Rande der Öffnung etwas Luft eindringen, allein da nicht alle Luft schnell genug durch diesen engen Zwischenraum entweichen

Bestimmungen. Bei den gewöhnlichen Mundstücken schlägt die Zunge gegen die Ränder der Öffnung selbst an, welches aber einen rauhen und schreienden Ton giebt.

kann, durch die übrige sofort die Zunge gegen das Loch und in dasselbe hineingedrückt werden, so daß die fernere Luft den Weg durch das Mundstück verschlossen findet. Die Excursion der Zunge in das Mundstück geht nun so weit, bis die Reaction der Luft, welche im Innern der Röhre in Schwingurg versetzt worden ist, verbunden mit der eigenen Elasticität der Zunge, sie wieder zurücktreibt und so das Loch des Mundstücks von Neuem frei läßt. Das vorige Spiel der Öffnung und Verschließung wird sich jetzt von Neuem wiederholen und ins Unbestimmte so lange fortdauern, als man das Anblasen fortsetzt.

Es erhellt, daß solchergestalt drei Ursachen vorhanden sind, welche einen Ton bewirken können: 1) die Schwingung der Zunge; 2) die Schwingungen, in welche die Luft in der Röhre versetzt wird, und welche sich durch die äußere Atmosphäre fortpflanzen; 3) die in schneller Folge sich succedirenden Luftstöße, welche dadurch hervorgebracht werden, daß die Luft abwechselnd durch die Öffnung zwischen den Rändern der Zunge und des Mundstücks eintreten kann, und dann wieder durch Verschließung dieser Öffnung intercipirt wird. Diese Luftstöße, indem sie aus der Röhre hervortreten, wirken für sich erschütternd auf die äußere Atmosphäre, und rufen dadurch Schallwellen in ihr hervor, die zu unserm Ohre gelangen *).

Wir werden weiterhin erörtern, welcher dieser Ursachen der wirklich hörbare Ton der Zungenpfeife hauptsächlich beigemessen werden muß, und wie dieselben überhaupt in einander eingreifen; für jetzt genügt es, dieselben namhaft gemacht zu haben.

Es muß erinnert werden, daß Töne aus einer Zungenpfeife nicht allein auf die vorhin beschriebene Art, sondern auch auf verschiedene andere Arten hervorgebracht werden können. So kann man, anstatt wie in Fig. 53 gegen das Mundstück zu blasen, vielmehr die Luft aus dem Ende z der Röhre aussaugen oder Luft bei z in die Röhre einblasen u. s. f., und es lassen sich überhaupt die Arten, Töne aus einer Zungenpfeife hervorzulocken, unter folgende drei Classen bringen:

I. Classe. Der Luftstrom drückt die Zunge in die Öffnung des Mundstücks hinein und strebt es zu verschließen. Diese Erregungsart, welche die gewöhnliche und zuerst beschriebene ist, findet dann Statt, wenn auf die Außenseite der Zunge eine dichtere Luft als auf die innere wirkt.

II. Classe. Der Luftstrom treibt die Zunge von der Öffnung des Mundstücks zurück. Diese Erregungsart findet Statt, wenn auf die Außenseite der Zunge eine dünnere Luft als auf die Innenseite wirkt.

III. Classe. Es geht gar kein Luftstrom durch die Röhre der Zun-

*) Man darf die zweite mit der dritten Ursache nicht zusammenwerfen, ungeachtet sie sich in den Zungenpfeifen zur Hervorbringung des nämlichen Tons vereinigen, da eine stehende Schwingung der Luftsäule in Pfeifen schon an sich Töne zu geben vermag, und eben so eine rasche Succession von Stößen gegen die äußere Luft für sich zur Erregung von Tönen fähig ist. Vgl. was späterhin über das Ineinandergreifen dieser verschiedenen Umstände gesagt werden wird.

genpfeife. Dies ist dann der Fall, wenn man die Röhre der Pfeife verschließt, während man auf die Zunge des Mundstücks bläst.

Wir werden uns im Folgenden blos auf die Betrachtung der ersten Erregungsart der Töne in Zungenpfeifen beschränken, welches die allein gewöhnliche ist *).

Gesetze, nach denen die Mundstücke für sich tönen. 1) Die Erfahrung lehrt, daß die Tonhöhe des Mundstücks dadurch keine Änderung erleidet, daß die Dimensionen des Lochs die der Zunge etwas übertreffen, wo niemals ein vollkommener Verschluß der Öffnung Statt finden kann. Nur spricht der Ton um so schwieriger an und läßt sich um so schwerer verstärken und schwächen, einen je größern Zwischenraum man zwischen den Rändern der Zunge und denen des Lochs läßt.

2) Die Tonhöhe des Mundstücks ist ganz unabhängig von der Stärke und Beschaffenheit des Luftstroms, sondern hängt blos von den Dimensionen und der Elasticität der Zunge ab, so daß ein Mundstück durch Anblasen einen Ton ganz von derselben Höhe giebt, als wenn man dessen Zunge für sich, an einem Ende befestigt, durch irgend einen Impuls in Schwingung versetzte. Die Verbindung mit der kurzen Röhre, welche das Mundstück bildet, ändert sonach nicht die Tonhöhe der Zunge (wohl aber die Stärke des Tons) ab **).

*) Vgl. über die andern Classen Weber's Diss. p. 9. 38. Pogg. XVI. 206. XVII. 199.

**) Die Versuche Weber's über diesen Gegenstand sind folgende: Ein Metallblatt von $12\frac{1}{2}$ Lin. Länge, $2\frac{1}{2}$ Lin. Breite und $\frac{1}{5}$ Lin. Dicke gab, an einem Ende befestigt und für sich durch einen Anstoß in Schwingung versetzt, den Ton $\overline{g}$. Als ihr sechster Theil abgeschnitten worden war, gab sie einen Ton zwischen $\overline{\overline{cis}}$ und $\overline{\overline{d}}$, wie nach dem (S. 272 erwähnten) Gesetz schwingender Stäbe, (das Metallblatt ist nur als ein sehr flacher Stab anzusehen) der Fall seyn muß, zufolge dessen die Schwingungszahlen zweier Stäbe von gleicher Dicke und Materie, aber ungleicher Länge, sich umgekehrt wie die Quadrate ihrer Längen verhalten. (In der That ist das Intervall von $\overline{g}$ zu einem zwischen $\overline{\overline{cis}}$ und $\overline{\overline{d}}$ fallenden Ton etwas kleiner als eine Quinte oder als 36 : 25, welches die Quadrate von 6 und 5, den verhältnißmäßigen Längen des Metallblatts, sind). Wenn man dasselbe Blatt vor seiner Verkürzung am Mundstück durch einen Luftstrom in Schwingung versetzte, so gab es ebenfalls den Ton $\overline{g}$, und nach Verkürzung um den 6ten Theil den Ton zwischen $\overline{\overline{cis}}$ und $\overline{\overline{d}}$. Soll jedoch dieser Versuch in vollkommner Genauigkeit ausfallen, so muß man dabei den befestigten Theil g h k l des Mundstücks durch einen Schraubstock fest anpressen, damit jede mögliche Schwingung desselben vermieden werde, sonst fällt der Ton etwas tiefer aus, als nach dem Verhältniß der Verkürzung der Zunge Statt finden sollte, weil dann eigentlich noch eine gewisse schwingende Länge ihr hinzuzurechnen ist. Bei frühern Versuchen, wo Weber diese Vorsicht vernachlässigte und die Verkürzung der Zunge blos mit einer Krücke, wie man bei den Mundstücken der Orgelpfeifen pflegt, zu bewerkstelligen suchte, konnte er daher jenes genaue Entsprechen der Resultate mit der Theorie nicht erhalten und eben so wenig gelang dies Biot, als er ebenfalls blos mit der Krücke die Verkürzung vornahm.

Gesetze, nach denen eine Röhre für sich tönt. 1) Röhren, wie sie die Labialpfeifen der Orgelpfeifen darstellen, können je nach der Art und Stärke des Anblasens verschiedene Töne geben, deren tiefster (Grundton) entsteht, wenn die Luft in der Röhre in ihrer ganzen Länge in Schwingung versetzt wird, während die höhern (harmonischen) Töne entstehen, wenn sie sich durch Schwingungsknoten in 2, 3, 4 oder mehr Theile abtheilt.

2) Der Grundton einer an einem Ende verschlossenen (gedeckten) Labialpfeife ist gerade um eine Octave tiefer als der Grundton einer offenen.

3) Die Reihe der harmonischen Töne, welche eine gedeckte Pfeife je nach der Art des Anblasens zu geben vermag, entspricht, vom Grundton an gerechnet, der Reihe der Schwingungszahlen 1, 3, 5, 7, 9....; die Reihe der harmonischen Töne einer offenen Röhre aber der Reihe der Schwingungszahlen 2, 4, 6, 8, 6, 10...., mithin jene der der ungeraden, diese der der geraden dazwischen fallenden Zahlen.

4) Die Luftsäule einer engen offenen Labialpfeife, die ihren Grundton giebt, macht (wenn man von dem Einfluß der Mündung absieht) in einer Secunde so viel Schwingungen, als ihre Länge in dem Raume, den die Schallwelle in einer Secunde durchläuft, enthalten ist; die Luftsäule einer engen gedeckten Labialpfeife, die ihren Grundton giebt, macht in einer Sec. halb so viel Schwingungen. Die Tonhöhe (Schwingungszahl) der offenen sowohl als gedeckten Pfeifen steht sonach im umgekehrten Verhältniß ihrer Länge.

Gesetze, nach denen die Zungenpfeifen tönen. 1) Wenn man die Länge der Zungenpfeife in gleiche Theile theilt von der Länge, welche einer offenen Röhre zukommt, die den Ton des Mundstücks oder der abgesondert schwingenden Zunge für sich zu geben vermag, und wenn dann ein Rest bleibt *), der kleiner ist als das Viertheil jener Länge, so ist der Ton der Zungenpfeife merklich dem Tone der für sich in Schwingung gesetzten Zunge gleich **).

2) Wenn der restirende Theil größer ist als $\frac{1}{2}$ jener Länge, so ist der Ton der Zungenpfeife nach dem Gesetze der gedeckten Pfeifen vorauszubestimmen, so nämlich, daß man unter den harmonischen Tönen, welche eine gedeckte Röhre von der Länge der Zungenpfeife für sich zu geben vermag, denjenigen auswählt, welcher tiefer als der eigenthümliche Ton der Zungenpfeife, aber ihm zunächst ist.

3) Wenn der restirende Theil zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{2}$ jener Länge fällt, so nähert sich der Ton der unter 1) bemerkten Gränze; fällt er dagegen zwi-

*) Wenn die ganze Länge der Zungenpfeife nicht so viel beträgt als eine offene Röhre nach obiger Bestimmung, so ist die ganze Länge als Rest zu betrachten.

**) Deshalb ist auch das geringe hohle Cylinderstück, welches zusammen mit der Zunge das Mundstück ausmacht, ohne Einfluß auf die Tonhöhe des Mundstücks.

schen $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{4}$, so nähert sich der Ton der unter 2) bemerkten Gränze, jedenfalls um so mehr, je näher der Rest an $\frac{1}{4}$ oder $\frac{3}{4}$ jener Länge fällt.

4) In den vorstehenden Fällen ist die Zungenpfeife jedesmal nur eines einzigen, durch die gegebenen Regeln bestimmten, Tons fähig *), und sie vermag nicht, wie die Labialpfeifen, je nach der Stärke des Windstroms verschiedene harmonische Töne zu geben.

5) Wenn jedoch bei der Eintheilung der Zungenpfeife auf die vorgenannte Art kein Rest bleibt **), so ist sie je nach der Kraft des Anblasens zweier Töne fähig, eines höhern bei schwächerm Anblasen und eines tiefern bei stärkerm. Der erste ist stets derjenige Ton aus der Reihe von harmonischen Tönen einer offenen Röhre von der Länge der Zungenpfeife, der mit dem Tone der abgesonderten Zunge oder des Mundstücks selbst übereinstimmt; der letzte ist der entsprechende harmonische Ton, welchen dieselbe Röhre geben würde, wenn sie als gedeckt tönte (Weber's Diss. p. 28).

6) Wenn man eine Zungenpfeife in gleiche Theile theilt von der Länge der offenen Röhre, welche abgesondert tönend denselben Ton als die Zungenpfeife hat, so bleibt ein Rest, welcher kleiner als die Hälfte der offenen Röhre ist. (Vgl. Weber's Diss. tab. II. zu Ende der Schrift und tab. IV. p. 25. Pogg. XVII. S. 201.)

Die vorstehenden Gesetze führen nachstehende Folgerungen mit sich:

a) Der Ton, den ein Mundstück giebt, kann zwar durch Verbindung mit einer Röhre unter gewissen Umständen ungeändert bleiben, wo er aber geändert wird, nur tiefer, nicht höher werden.

b) Die größte Vertiefung des Tons, die ein Mundstück durch Ansatz einer Röhre erfahren kann, ist eine Octave.

c) Mit fortgesetzter Verlängerung der Röhre erfolgt nicht eine continuirliche Vertiefung des Tones, sondern der Ton springt in dem Maße, als man durch gewisse Abstufungen der Länge schreitet, immer wieder auf den ursprünglichen Ton des Mundstücks zurück.

d) Wenn der Ton des für sich tönenden Mundstücks in der Reihe der harmonischen Töne der für sich tönenden offenen Röhre begriffen ist, so ändert sich der Ton des Mundstücks nicht durch Verbindung mit der Röhre

*) Indeß muß doch bemerkt werden, daß bei Zungenpfeifen, bei denen Zunge und Röhre nicht in dem Verhältniß der Compensation stehen, (von diesem wird später die Rede seyn) allerdings durch stärkeres oder schwächeres Anblasen kleine Änderungen in der Höhe der Töne entstehen, indem der Ton bei schwachem Blasen etwas tiefer oder höher als bei starkem Blasen seyn wird, je nachdem der Ton der Zungenpfeife mehr von der Luftsäule oder Zunge abhängt. (Vgl. Pogg. XIV. 406. XVI. 416. 432. XVII. 229.)

**) Das heißt mit andern Worten, wenn der Ton des abgesonderten Mundstücks in der Reihe der harmonischen Töne der abgesonderten, als offen tönend gedachten, Röhre inbegriffen ist. Wie leicht zu erachten übrigens, kann dieser Fall als der Übergang von Fall 1 zu Fall 2 angesehen werden, denn er kommt auf Fall 1 zurück, wenn man sich den restirenden Theil als verschwindend denkt, auf Fall 2, wenn man ihn gleich 4 Viertheilen setzt. In der That bietet auch der obige Fall im Erfolge eine Vereinigung von Fall 1 und Fall 2 dar.

bei schwachem Anblasen. Durch starkes Anblasen aber kann dann bewirkt werden, daß der Ton entweder um eine Octave oder Quarte oder kleine Terz, oder um andre Intervalle, welche den Zahlen $\frac{7}{8}$; $\frac{9}{10}$, $\frac{11}{12}$... entsprechen, unter den Ton des Mundstücks erniedrigt wird, je nachdem der Ton des Mundstücks entweder mit dem Grundtone oder dem ersten, zweiten, dritten, vierten, fünften... harmonischen Tone der offen tönenden Röhre übereinstimmt.

Dieser Folgesatz ergiebt sich aus 3).

In der That, die harmonischen Töne einer offenen und gedeckten Röhre von gleicher Länge entsprechen einander in folgender Art (wenn wir beispielsweise C als den der Schwingungszahl 1 entsprechenden Grundton der gedeckten Röhre setzen):

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| c, | $\bar{c}$, | $\bar{g}$, | $\bar{\bar{c}}$, | $\bar{\bar{e}}$ | u. s. w. | offene Röhre. |
| 2, | 4, | 6, | 8, | 10 | u. s. w. | |
| C, | g, | $\bar{e}$, | $\overline{ais}$, | $\bar{\bar{d}}$ | u. s. w. | gedeckte Röhre. |
| 1, | 3, | 5, | 7, | 9 | u. s. w. | |

Ist nun der Ton des abgesonderten Mundstücks C, d. h. stimmt er mit dem Grundtone der offenen Röhre überein, so wird nach Satz 3) die Zungenpfeife bei schwachem Anblasen auch den Ton c, bei starkem Anblasen den Ton C geben, welche beide um eine Octave aus einander liegen. Wäre der Ton des abgesonderten Mundstücks dagegen z. B. $\bar{g}$, d. h. stimmte er mit dem zweiten harmonischen Tone der offenen Röhre überein, so würde $\bar{g}$ bei schwächerm Anblasen, dagegen $\bar{e}$ bei stärkerm Anblasen gehört werden, welche beiden Töne um das Intervall $\frac{5}{6}$ oder der kleinen Terz aus einander liegen u. s. f.

Es erhellt solchergestalt, daß durch eine verschiedene Art des Anblasens unter den angegebenen Verhältnissen der Ton höchstens um eine Octave erniedrigt werden kann.

e) Die Art, wie der Ton eines Mundstücks durch fortgehende Verlängerung einer angesetzten Röhre modificirt wird, ist folgende:

a sey der vierte Theil der Länge einer an beiden Enden offenen Röhre, deren Luftsäule, wenn sie schwingt, denselben Ton als die Zunge oder das Mundstück für sich giebt.

α) Setzt man an die Zungenpfeife eine kurze Luftsäule und verlängert sie stufenweise, bis sie die Länge von a hat, so wird der Ton dabei kaum merklich tiefer, als der Ton war, den die Zunge hatte, als sie, noch ohne mit der Luftsäule in Verbindung zu seyn, schwang.

β) Während die Länge der Luftsäule stufenweise von a bis 2a zunimmt, wird der Ton der Zungenpfeife merklich tiefer als der Ton der isolirt schwingenden Zunge; indessen nimmt die Tonhöhe (Schnelligkeit der Schwingungen) langsamer ab, als die Länge der Luftsäule zu.

γ) Während die Länge der Luftsäule stufenweise von 2a bis 3a zunimmt, weicht der Ton schnell vom Tone der allein schwingenden Zunge

ab; (die Tonhöhe sinkt hier fast eben so schnell, als die Länge der Luftsäule wächst).

δ) Während die Länge der Luftsäule stufenweise von 3a bis 4a zunimmt, wird der Ton noch schneller tief, bis er zuletzt genau eine ganze Octave tiefer als der Ton der Platte allein ist; die Tonhöhe nimmt dabei vollkommen eben so schnell ab, als die Länge der Röhre zu.

Hiermit schließt die Reihe von Tönen, die man durch die stufenweise Verlängerung der an die Zungenpfeife angesetzten Röhre hervorbringen kann. Bei fortgesetzter Verlängerung derselben wird der Ton nicht nur nicht tiefer, sondern er springt plötzlich auf den hohen Ton zurück, welchen die isolirte Zunge giebt*), und dieser hohe Ton wird nun, wenn die Röhre abermals mehr und mehr verlängert wird, auf eine ähnliche Weise allmälig tiefer, als dies vorher der Fall war. Denn:

ε) während die Länge der Luftsäule von 4a bis 5a wächst, verändert sich der Ton kaum merklich.

ζ) Während die Länge der Luftsäule von 5a bis 6a verlängert wird, ist der Ton merklich tiefer, als der Ton der isolirt schwingenden Zunge, indessen sinkt die Tonhöhe in merklich langsamern Verhältnisse, als die Länge der Luftsäule zunimmt.

η) Während die Länge der Luftsäule von 6a bis 7a zunimmt, weicht der Ton schnell vom Tone der isolirt schwingenden Zunge ab, und die Dauer der Schwingungen wächst fast eben so schnell, als die Länge der Luftsäule.

ϑ) Während die Länge der Luftsäule von 7a bis 8a wächst, wird der Ton noch schneller tief, bis er zuletzt eine Quarte tiefer als der Ton der isolirten Zunge ist. Die Dauer der Schwingungen wächst dabei vollkommen gleich schnell, als die Länge der Luftsäule.

Treibt man die Verlängerung der Luftsäule nun noch weiter, so springt der Ton zuerst abermals auf den Ton der abgesonderten Zunge zurück, welcher bis zu 9a merklich constant bleibt, von da an wieder merklich sinkt, bis er bei 12a um eine kleine Terz tiefer geworden ist, als der Ton der Zunge.

In dieser Art geht der Fortschritt weiter.

Man erkennt leicht, welchem Gesetz die Sprünge dabei folgen. Der erste Sprung geschah um eine Octave, der zweite um eine Quart, der dritte um eine kleine Terz, wobei die Schwingungszahlen sich wie

1 : 2
3 : 4
5 : 6

verhalten. Bei den folgenden Sprüngen würden sich die Schwingungen wie

*) Im Übergange hierzu findet der Punkt der Röhrenlänge Statt, wo je nach der Kraft des Anblasens zwei verschiedene Töne hervorgebracht werden können.

7 : 8
9 : 10
11 : 12 u. s. f.

verhalten, welches nicht nur aus dem angegebenen Gesetze folgt, sondern auch von Weber direct bis zu dieser Ausdehnung durch Versuche bestätigt worden ist.

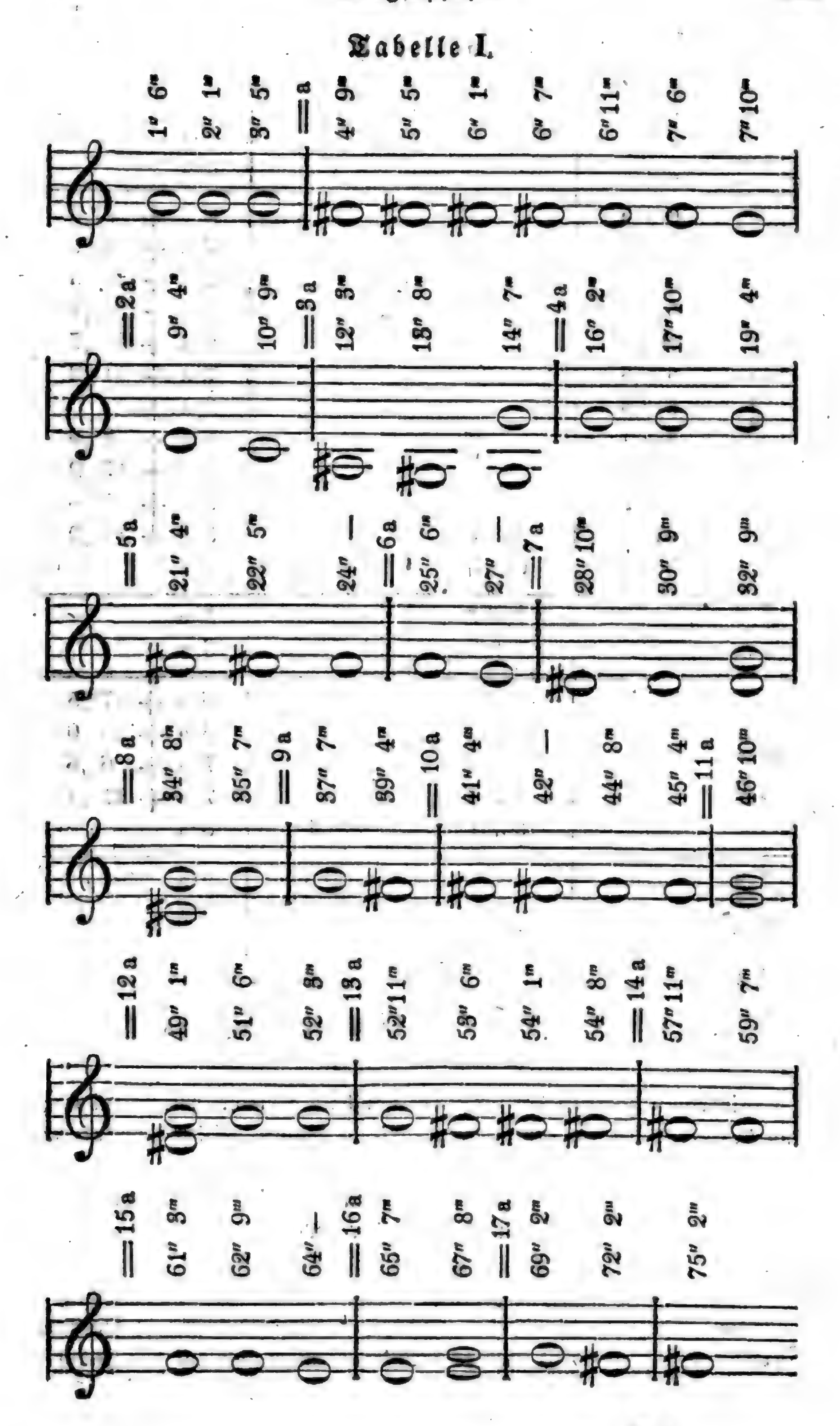
Es erhellt sonach, daß, durch je mehr Abstufungen der Röhrenlänge man schon geschritten ist, um so weniger vermag der Ton der Zungenpfeife durch fernere Vergrößerung dieser Länge unter den Ton der Zunge erniedrigt zu werden.

f) Betrachten wir den Anfang und Schluß jeder Periode, in welcher die Länge der Luftsäule jedesmal um 4a zunimmt, so finden wir, daß die Luftsäule in der Zungenpfeife im Anfange jeder Periode wie in einer offenen Labialpfeife, am Schlusse jeder Periode wie in einer gedeckten Labialpfeife schwingt.

g) Röhren verschiedener Länge geben in Verbindung mit demselben Mundstück dann und bloß dann den nämlichen Ton, wenn der Theil, um welchen die eine die andere übertrifft, so groß ist, daß er für sich und offen denselben Ton geben würde, als die ganze Zungenpfeife (Weber Diss. p. 18. Pogg. XVI 435).

Zum Beweise und zur Erläuterung mehrerer dieser Gesetze folgen in nachstehenden Tabellen zwei der von Weber über diesen Gegenstand angestellten Versuchsreihen. In beiden Tabellen ist der Werth von a = 48 Lin. In der ersten sind die Töne, die den verschiedenen beigeschriebenen Röhrenlängen entsprechen, durch musikalische Bezeichnungen, in der zweiten durch die Schwingungszahlen in 1 Secunde ausgedrückt *).

*) Die Zunge des zu beiden Versuchen angewandten Mundstücks war von Messing, 12,6 Linien lang, 0,22 Linien dick, 2,5 Linien breit und machte 776 Schwingungen in 1 Secunde, welches dem Tone $\overline{g}$ entspricht. Eine an beiden Enden offene Luftsäule, welche allein denselben Ton als diese Zunge gab, war 195,3 Linien lang, mithin a gleich dem Viertel hiervon, welches 48,8 Linien ist, wie oben angegeben. Bei den Versuchen in Tab. I. war die Röhre 5,5 Linien, bei den in II. 4,7 Linien weit. Die Röhre war bei dem ersten Versuche am längsten, und nach jeder Verkürzung wurde der Ton der Zungenpfeife mit Hülfe des Monochords untersucht.

## Tabelle I.

1″ 6‴
2″ 1‴
3″ 5‴
= a
4″ 9‴
5″ 5‴
6″ 1‴
6″ 7‴
6″ 11‴
7″ 6‴
7″ 10‴
= 2 a
9″ 4‴
10″ 9‴
= 3 a
12″ 3‴
13″ 8‴
14″ 7‴
= 4 a
16″ 2‴
17″ 10‴
19″ 4‴
= 5 a
21″ 4‴
22″ 5‴
24″ —
= 6 a
25″ 6‴
27″ —
= 7 a
28″ 10‴
30″ 9‴
32″ 9‴
= 8 a
34″ 8‴
35″ 7‴
= 9 a
37″ 7‴
39″ 4‴
= 10 a
41″ 4‴
42″ —
44″ 8‴
45″ 4‴
= 11 a
46″ 10‴
= 12 a
49″ 1‴
51″ 6‴
52″ 8‴
= 13 a
52″ 11‴
53″ 6‴
54″ 1‴
54″ 8‴
= 14 a
57″ 11‴
59″ 7‴
= 15 a
61″ 3‴
62″ 9‴
64″ —
= 16 a
65″ 7‴
67″ 8‴
= 17 a
69″ 2‴
72″ 2‴
75″ 2‴

## Tabelle II.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| von 0 bis 2a | 776,1 | | | ½ a |
| | 760,5 | | | a |
| | 721,9 | | | 2 a |
| von 2 a bis 4 a | 681,5 | | | 2 a + 5‴,8 |
| | 670,5 | | | 2 a + 12 ,0 |
| | 663,8 | | | 2 a + 18 ,5 |
| | 624,2 | | | 2 a + 25 ,4 |
| | 594,7 | | | 2 a + 32 ,7 |
| | 552,8 | | | 2 a + 41 ,2 |
| | 518,5 | | | 3 a + |
| | 481,1 | | | 3 a + 8 ,6 |
| | 462,9 | | | 3 a + 17 ,9 |
| | 442,7 | | | 3 a + 27 ,6 |
| | 416,4 | 778,1 | | 3 a + 38 ,0 |
| | 386,7 | 775,7 | | 4 a |
| von 4 a bis 6 a | | 756,7 | | 5 a |
| | | 730,4 | | 6 a |
| von 6 a bis 8 a | | 700,0 | | 6 a + 17‴,5 |
| | | 679,4 | | 6 a + 36 ,0 |
| | | 638,3 | | 7 a + 6 ,6 |
| | | 618,2 | | 7 a + 27 ,4 |
| | | 567,1 | 774,1 | 8 a |
| von 8 a bis 10 a | | | 760,6 | 9 a |
| | | | 738,6 | 10 a |

In Pogg. XVI. 432 ist noch eine Versuchsreihe beigefügt.

### Nähere Erörterungen über die Entstehung des Tones in Zungenpfeifen.

Wir haben S. 316 die Umstände namhaft gemacht, welche zur Erzeugung des Tons der Zungenpfeifen mitwirken können. Diese Umstände greifen folgendermaßen in einander ein:

Die Zunge wird durch das Anblasen in Schwingung versetzt und bewirkt hierdurch ein abwechselndes Schließen und Öffnen der Öffnung des Mundstücks, wodurch eine der Zahl der Schwingungen der Zunge entsprechende Zahl Luftstöße hervorgebracht wird. Durch die Schwingung der Zunge wird zugleich die in der Röhre befindliche Luftsäule in sogenannte stehende Schwingung *) versetzt, und schwingt nun mit der Zunge zu-

*) Eine stehende Schwingung ist eine solche, in welcher sich Maxima der

gleich. Nun würden Zunge und Luftsäule, wenn man sie für sich tönen ließe, jedes ihre besondere Schwingungszahl haben, indem diese von den besonderen Dimensionen der Zunge und Röhre abhängen; läßt man sie aber in der Zungenpfeife durch Anblasen derselben zusammenschwingen, so wirken ihre Schwingungen wechselseitig so auf einander ein, daß sie sich zur Gleichheit accommodiren, wenn sie auch für sich sehr verschiedene Schwingungszahlen haben würden. Dieser Umstand schließt folgende drei Fälle ein, welche sich sämmtlich in der Erfahrung wieder finden.

1) Bloß die Zunge ändert die ihr an sich zukommende Schwingungszahl, um sie der Luftsäule anzupassen, während die eigenthümliche Schwingungszahl der Luftsäule dieselbe bleibt, als ihr nach Maßgabe ihrer Länge und Elasticität zukommt.

2) Es findet der umgekehrte Fall Statt.

3) Sowohl Zunge als Luftsäule ändern die ihnen für sich zukommende Schwingungszahl, um eine dritte gemeinschaftliche Schwingungszahl anzunehmen.

Der erste Fall findet dann Statt, wenn die Röhre der Zungenpfeife eine solche Länge hat, daß sie bei der Abtheilung (nach Satz 5. S. 323) keinen Rest läßt und man sie stark anbläßt. Dann nämlich ist der Ton stets einer derer, die eine gedeckte Röhre von gleicher Länge mit der Zungenpfeife zu geben vermag *), und unterscheidet sich entweder um eine Octave, Quarte, Terz oder andere Intervalle (S. 320) von dem eigenthümlichen Tone, den die Zunge für sich zu geben vermöchte. Hier also, wo der Ton der ganzen Zungenpfeife derselbe als der Ton der abgesonderten Röhre ist, hat der letztere die Zunge genöthigt, ihre Schwingungen zur Gleichheit mit denen der abgesonderten Röhre zu accommodiren.

Auch dann, wenn die Röhre eine solche Länge hat, daß bei der Abtheilung nach Satz 2. S. 318 ein Rest bleibt, der über $\frac{3}{4}$ beträgt, findet der erste Fall noch Statt. Dagegen wird der zweite Fall Statt finden, wenn hierbei (Satz 1. S. 318) ein Rest bleibt, der unter $\frac{1}{4}$ beträgt; endlich der dritte Fall, wenn der Rest zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ fällt.

Es könnte zweifelhaft scheinen, ob die Luft in Zungenpfeifen überhaupt in stehende Schwingung geräth, da der Ton derselben allein schon durch die rasche Folge von Luftstößen, welche von ihr aus in die äußere Atmosphäre heraustreten, erklärlich wird, unabhängig von stehenden Schwingungen der in ihr enthaltenen Luftsäule. Mit anderen Worten, da ein

Schwingungen und Schwingungsknoten bilden und wo die Geschwindigkeit der Schwingungen von der Größe der schwingenden Abtheilungen abhängt, wie dies bei tönenden Saiten und Labialpfeifen der Fall ist; bei bloßen Wellenbewegungen, wie sie die Wellen darstellen, die ein ins Wasser geworfener Stein hervorbringt, oder den Schallwellen, welche den Ton durch die Luft zu unserm Gehör fortpflanzen, finden keine Schwingungsknoten Statt.

*) Durch das starke Anblasen wird die Röhre der Zungenpfeife wirklich zu einer gedeckten, indem dann die Zunge so weit in das Loch hineingedrückt wird, daß sie auch beim Schwingen dasselbe beständig verschließt.

Ton schon entstehen muß, wenn aus Zungenpfeifen eine schnelle Folge von Luftstößen hervorbringt, so scheint es nicht nöthig anzunehmen, daß die Luftsäule in der Röhre noch besondere Schwingungen mache, welche mit diesem Tone harmoniren, und es scheint dies für den ersten Anblick um so unnöthiger, da sich jedenfalls durch Erfahrung nachweisen läßt, daß, wenn auch Schwingungen der Zunge und Luftsäule wirklich Statt finden sollten (was bei ersterer unzweifelhaft ist), doch der starke und volle Ton nicht unmittelbar von ihr, sondern in der That von den Luftstößen abhängt.

Zum Belege dieses letzten Umstandes läßt sich Folgendes anführen (Pogg. XVI. 421).

1) Der starke und volle Ton der Zungenpfeife kann nicht von den Schwingungen der Zunge abhängen: denn man kann eine abgesonderte Zunge für sich durch Streichen mit dem Violinbogen in die heftigsten Schwingungen versetzen, ihr Klang wird nur schwach, nur ganz nahe hörbar und weit weniger voll und weniger stark sein, als der Ton der Zungenpfeife, welche angeblasen wird.

2) Er kann auch nicht von den Schwingungen der Luftsäule abhängen, denn man kann die Luftsäule ganz weglassen, und von der Röhre, welche vorher die Luftsäule einschließt, bloß den Rahmen, welcher die Zunge zunächst umgiebt, übrig lassen. Umschließt man dann diesen Rahmen rings an seinen Rändern mit den Lippen und bläst (wie bei der sogenannten Mundharmonica), so entsteht ein Ton, der seiner Höhe nach fast derselbe, seinem Klange nach aber völlig derselbe ist, als wenn eine kürzere Luftsäule mitschwänge.

Es bleiben somit nach letzterm Versuche bloß die in rascher Folge sich succedirenden Luftstöße übrig, die durch abwechselndes Durchlassen und Intercipiren des Luftstroms hervorgebracht werden, welche man als nächste Ursache des Tones in den Zungenpfeifen ansehen kann.

Allein darin zeigt sich der Einfluß und das Vorhandensein von Schwingungen der Luftsäule ebensowohl als der Zunge, daß dadurch die Schnelligkeit, in der sich jene Luftstöße succediren, auf gewisse Weise regulirt wird. Wären keine Schwingungen der Luftsäule vorhanden, so müßte der Ton der Zungenpfeife immer derselbe sein, als der der Zunge für sich, indem dann die Interceptionen des Luftstroms der Zahl der Schwingungen der abgesonderten Zunge jedenfalls entsprechen würden; allein die Erfahrung hat gelehrt, daß unter vielen Umständen der Ton ein ganz anderer sei, als der Zunge für sich zukommt; dies setzt einen Einfluß voraus, welcher die Zunge nöthigt, die ihr eigenthümliche Schwingungszahl, von welcher die Zahl der Interceptionen des Luftstroms abhängt, zu ändern; und dieser Einfluß kann in nichts Anderm als in Schwingungen der Luftsäule gesucht werden, da wir finden, daß bei successiver Verlängerung einer Zungenpfeife eine analoge periodische Wiederkehr von Erscheinungen eintritt, als wir bei Verlängerung einer Labialpfeife wahrnehmen, worin unbezweifelt stehende Schwingungen Statt finden.

Nicht also die schwingende Zunge selbst giebt den Ton und erregt die Schallwellen, die sich von der Zungenpfeife zu uns verbreiten, sondern die Luft; nicht aber die schwingende Luft in der Röhre der Zungenpfeife, sondern der periodisch gehemmte, stoßweise hervordringende Luftstrom. Die Zunge aber regulirt die Stöße des Luftstroms, bestimmt die Zeiträume, die von Stoß zu Stoß verfließen; und die Dauer der durch diese Stöße in der äußern Luft hervorgebrachten Schallwellen wird so der Dauer der Zungenschwingungen gleich gemacht. Die Dauer dieser Zungenschwingungen aber hängt nicht allein von der eigenthümlichen Elasticität und den Dimensionen der Zunge, sondern auch von dem Einfluße ab, den die Schwingungen der Luft in der Röhre auf die Zunge äußern.

Die wahre naturgemäße Vorstellung von dem Ineinandergreifen und Aufeinanderwirken der verschiedenen Elemente, die bei der Tonerregung durch eine Zungenpfeife in Betracht kommen, läßt sich hiernach in folgende drei Sätze zusammenfassen:

1) der volle und starke Ton der Zungenpfeife ist die unmittelbare Folge von Luftstößen;
2) die Zahl der Luftstöße in einem bestimmten Zeitraume, z. B. in 1 Secunde, ist die unmittelbare Folge der Schwingungen der Zunge;
3) die Zahl der Schwingungen der Zunge in einem bestimmten Zeitraume, z. B. in einer Secunde, ist die unmittelbare Folge eben sowohl ihrer eigenthümlichen Elasticität, als auch des abwechselnd zu- und abnehmenden, auf sie wirkenden Druckes der benachbarten, in der Röhre schwingenden Luft.

Weber vergleicht auf interessante Weise die, in Abhängigkeit von der Zunge schwingende und auf deren Schwingungen zurückwirkende, Luftsäule der Zungenpfeifen mit einer Pendelkugel, deren Faden mit seinem obern Ende an die Kugel eines andern Pendels geknüpft ist. Daniel Bernoulli und Euler *) haben bewiesen, daß hier in gewissen Fällen beide Kugeln auch pendelartig schwingen und jede Schwingung gleichzeitig beginnen und endigen können. Wie leicht zu erachten aber wird, wenn man den Faden der untern Kugel durchschneidet, der obere noch allein, nach einem von der Länge ihres Fadens abhängigen, Tacte fortschwingen, gerade wie die Zunge der Zungenpfeife auch nach Entfernung der Luftsäule noch für sich fortzuschwingen vermag, nach dem von ihrer Elasticität abhängigen Tacte; dagegen die Schwingung des untern Pendels wie die Luftsäule in der Zungenpfeife nur in ihrer Verbindung respectiv mit dem obern Pendel und der Zunge Statt finden und, hiervon getrennt, einer neuen Aufhängung oder bewegenden Ursache bedürfen würde, um in Schwingung gerathen zu können.

*) Commentar. Petrop. T. VI. p. 108. Acta Petrop. pro anno 1779. pars prior p. 89.

## Formeln für die Zungenpfeifen *).

Weber hat aus den Schwingungsgesetzen elastischer Platten und Luftsäulen und dem Umstande, daß sich, der Erfahrung zufolge, in Zungenpfeifen beide zur Gleichheit accommodiren, die Formel abgeleitet, nach welchen sich der Ton einer gegebenen Zungenpfeife aus der Beschaffenhet der Zunge und Röhre ableiten läßt, eine Formel, welche zugleich die Beziehung des Tons der Zungenpfeife zur Schallgeschwindigkeit enthält und zur Berechnung letzterer aus ersterer dienen kann.

Es sei:

n die Zahl der Schwingungen der isolirten Platte oder Zunge in einer Secunde.

n′ die Zahl der isochronischen Schwingungen der Platte und Luftsäule, welche den Ton der Zungenpfeife bestimmt.

$\Omega$ die Geschwindigkeit des Schalls in 1 Sec.

g der Fallraum in der ersten Secunde = 2174 Lin nach Borda;

k das Verhältniß der Druckeszunahme zur Dichtigkeitszunahme in einer Schallwelle = 1,375 nach Gay-Lussac und Walter;

l die Länge der Zungenpfeife;

p das Gewicht eines Quecksilberprisma's, das die Flächeneinheit zur Basis, die Barometerhöhe beim mittlern Druck der Luftsäule zur Höhe hat;

q das Gewicht, welches der elastischen Kraft der Platte, wenn sie um die Längeneinheit von der Lage des Gleichgewichts entfernt wäre, auf einer Strecke von der Größe der Flächeneinheit das Gleichgewicht hielte, unter der Voraussetzung, daß die elastische Kraft der Platte ihrer Entfernung von der Lage des Gleichgewichts stets proportional bleibe.

$\mu$ die Oberfläche des schwingenden Theils der Platte, dividirt durch den Querschnitt der Luftsäule **);

$\pi = 3,14159...$;

$\varrho$ das Gewicht eines Stückes der Platte von der Größe der Flächeneinheit.

$$a = \frac{2g\,\mu\,p}{\pi\,\varrho}$$

so hat man

*) Pogg. XVII. 193.

**) Es muß bemerkt werden, daß dieser Werth von $\mu$ eigentlich nur für den Fall ganz genau wäre, wo alle Puncte der Zunge beim Schwingen gleiche Excursionen machten, mithin für den idealen Fall, wo eine der Länge der Zungenpfeife parallele Platte oder Zunge beim Hin- und Zurückoscilliren ihr parallel bliebe, was begreiflich bei den wirklichen Zungen, die an einem Ende befestigt sind und bloß mit dem freien Ende schwingen, nicht der Fall ist. Indeß hat die Vergleichung der Resultate obiger Formel mit der Erfahrung gelehrt, daß man die Resultate der letztern wirklich mit genügender Genauigkeit repräsentirt, wenn man für $\mu$ den nach oben bestimmten Werth bei unseren Zungenpfeifen setzt. (Vgl. Pogg. XVII. S. 221 ff.)

$$nn = n'n' + \frac{akn'}{\Omega'} \operatorname{tang} \frac{\pi l n'}{\Omega}\ ^{*)}$$

Daß diese Formel der Erfahrung entspricht, hat Weber dadurch bewährt, daß er einmal $\Omega$, das andere mal n aus den übrigen bekannten Elementen für gegebene Zungenpfeifen aus der Formel berechnete und die so erhaltenen Werthe in hinreichender Annäherung übereinstimmend mit der Formel fand.

Um aus der vorstehenden Formel die Formel für Bestimmung der Schallgeschwindigkeit aus dem Tone und der Beschaffenheit der Zungenpfeifen herzuleiten (S. 249), ist in Betracht zu ziehen, daß, je mehr sich der Bogen $\frac{\pi l n'}{\Omega}$ einem Quadranten nähert oder, mit andern Worten, je näher $\Omega$ dem Werthe 2 l n' kommt, der für gedeckte Röhren bei vernachlässigtem Einfluß des Mundstückes gilt, desto weniger unterscheidet sich

$$\operatorname{tang.} \frac{\pi l n'}{\Omega} \text{ von } \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi l n'}{\Omega}\right)^{-1}\ ^{**)}$$

setzt man aber tang. $\frac{\pi l n'}{\Omega}$ diesem Werthe gleich, so ergiebt sich für $\Omega$ der auf S. 249 angeführte Werth, so daß

$$\frac{2akn'}{\pi(nn - n'n')}$$

die bei der, aus Zungenpfeifen berechneten, Geschwindigkeit des Schalles anzubringende Correction wegen Einflusses des Mundstückes ist.

Man kann auch die obige Formel brauchen, um den Werth von k aus Versuchen mit Zungenpfeifen herzuleiten. Man hat nämlich

$$k = \frac{(nn - n'n')\,\Omega}{an' \operatorname{tang.} \frac{\pi l n'}{\Omega}}$$

Da der Factor k der Differenz $nn - n'n'$ direct und der tang. $\frac{\pi l n'}{\Omega}$ umgekehrt proportional ist, so hat man hierzu solche Versuche zu wählen, wo die Differenz $nn - n'n'$ von bedeutender Größe und der Bogen $\frac{\pi l n'}{\Omega}$ beträchtlich kleiner als 1 Quadrant, d. i. l n' kleiner als $\frac{1}{2}$ ist. Nach Berechnung zweier Versuche fand Weber solchergestalt

$$k = 1{,}372,$$

*) In dem Falle, wo die Außenseite der Platte anstatt mit einem Behälter von verdichteter Luft, wie wir hier stets voraussetzen, vielmehr mit einem von verdünnter Luft communicirte, würde man bloß nöthig haben; das Zeichen + im zweiten Gliede der Gleichung, in das Zeichen — zu verwandeln.

**) Bei völliger Gleichheit von $\Omega$ und 2 l n' nämlich würde

$$\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi l n'}{\Omega}\right)^{-1} = \infty \text{ sein.}$$

was mit dem, nach Laplace's Theorie aus den Versuchen von Gay-Lussac und Welter berechneten, Werthe 1,375 merklich übereinstimmt. $\Omega$ wurde hierbei = 1063 Par. Fuß (für 28° C.?) angenommen.

### Compensirte Orgelpfeifen, von W. Weber*).

Weber setzte sich die Aufgabe, Orgelpfeifen aufzustellen, welche, wie schwach oder stark auch der Luftstrom sein mag, der den Ton in ihnen erregt, dennoch immer genau dieselbe Tonhöhe behalten. Die Lösung dieser Aufgabe ist nicht nur von Wichtigkeit für manche akustische Untersuchungen, indem sie Töne von unveränderlicher Höhe verschafft, sondern verspricht auch Nutzen für die Ausübung der Musik, insofern die Orgel bis jetzt noch an der Mangelhaftigkeit litt, daß die Töne derselben nicht ohne Änderung der Höhe allmälig anwachsen und abnehmen können.

Folgende Betrachtungen führten Weber zur Lösung dieser Aufgabe:

Es ist bekannt, daß der Ton einer angeschlagenen Stimmgabel im ersten Augenblicke etwas tiefer ist, als gegen das Ende, wo die Schwingungsbahnen ihrer Theilchen sehr klein geworden sind. „Der Ton der verhallenden Stimmgabel", sagt man, „zieht sich etwas in die Höhe". Eben so zieht sich der Ton jeder verhallenden Saite etwas in die Höhe. Überhaupt ist es eine Eigenthümlichkeit aller transversalschwingenden Körper, daß ihr Ton etwas tiefer bei stärkerer, etwas höher bei schwächerer Schwingung ist. Die umgekehrte Eigenthümlichkeit haben aber alle longitudinalschwingenden Körper, und im höchsten Grade findet sie sich bei longitudinalschwingenden Luftsäulen; denn statt, wie die transversal (durch Beugung) schwingenden Körper bei Verstärkung der Schwingungen tiefer zu tönen, tönen longitudinal (durch Verdichtung und Verdünnung) schwingende Körper dabei höher. „Der Ton eines Blaseinstruments", sagt man, „wird durch stärkeres Blasen in die Höhe getrieben". In beiden Fällen, bei Longitudinalschwingungen und bei Transversalschwingungen, wird also der Ton in seiner Höhe geändert, aber auf eine entgegengesetzte Weise.

Wäre es nun also möglich, eine tönende Metallplatte, welche transversal schwingt, und eine tönende Luftsäule, welche longitudinal schwingt, in eine solche Verbindung und Wechselwirkung mit einander zu bringen, daß sie nur beide gleich schnelle und gleichzeitige Schwingungen machen könnten, so wäre es auch möglich, aus ihnen ein musikalisches Instrument zusammenzusetzen, welches seinen Ton gar nicht ändert, während man ihn schwächer oder stärker erregt. Dies nun ist wirklich der Fall bei den compensirten Pfeifen Weber's.

Schon bei der gewöhnlichen Zungenpfeife mit freischwingender durchschlagender Zunge ist eine transversalschwingende Metallplatte mit einer in einer Röhre eingeschlossenen longitudinalschwingenden Luftsäule auf diese Weise verbunden. Denn wenn auch jeder von diesen beiden Körpern, aus

*) Pogg. XVI. 397.

welchen dieses Instrument zusammengesetzt ist, die transversalschwingende Metallplatte und die longitudinalschwingende Luftsäule, so beschaffen ist, daß jeder von ihnen, einzeln und allein schwingend, eine andere Zahl von Schwingungen, und also einen andern Ton hervorbringt, so sind sie doch in diesem Instrumente so mit einander verbunden, daß sie dennoch nur gemeinschaftlich irgend einen dritten Ton, und also nur eine dritte Zahl von Schwingungen hervorbringen können.

Unter bestimmten Verhältnissen nun wird die in der Röhre dieses Instruments eingeschlossene Luftsäule genöthigt, ihre Schwingungen bedeutend zu ändern und fast ganz der transversalschwingenden Metallplatte nachzugeben. In diesem Falle wird der Ton der Zungenpfeife durch Verstärkung tiefer. Unter bestimmten anderen Verhältnissen dagegen wird die Metallplatte genöthigt, ihre Schwingungen beträchtlich zu ändern und den Longitudinalschwingungen der Luftsäule nachzugeben. In diesem Falle wird der Ton der Zungenpfeife durch Verstärkung erhöhet. Es giebt aber auch endlich einen dritten zwischen beiden in der Mitte liegenden Fall, in welchem die transversalschwingende Metallplatte den Ton der Zunge um eben so viel vertieft, als die longitudinalschwingende Luftsäule ihn erhöht, und dies ist der Fall der Compensation, welche Weber zu erreichen beabsichtigte.

Durch Beobachtung und Berechnung nun ist es Weber'n gelungen, für jeden gegebenen Ton im Voraus die Dicke und Länge der Metallplatte bei einem bestimmten Metalle, z. B. bei Messing, und die Länge der Röhre, wie auch die übrigen Dimensionen der beiden gemeinschaftlich schwingenden Körper anzugeben, so daß, wenn ein Instrument nach diesen Vorschriften von einem geschickten Mechanicus genau verfertigt wird, es nicht allein einen bestimmten Ton unserer Scale geben, sondern zu gleicher Zeit compensirt sein wird.

Weber theilt folgende 5 Beispiele compensirter Orgelpfeifen mit:

Fünf Beispiele compensirter Orgelpfeifen.

| Zur Hervorbringung folgender Töne sind | folgende Schwingungen in 1 Sec. erforderlich. | Die Messingplatten würden bei folgenden Dicken außer der Zungenpfeife | folgende Schwingungen in 1 Secunde machen. | Die Luftsäulen würden bei folgenden Längen der Röhren außer der Zungenpfeife | folgende Schwingungen in 1 Secunde machen. |
|---|---|---|---|---|---|
| as | 406,40 | 0 lin.,1815 | 424,12 | 102 lin.,61 | 720,44 |
| a | 430,56 | 0,1933 | 451,77 | 102,57 | 720,97 |
| b | 456,15 | 0,2059 | 481,22 | 101,95 | 725,18 |
| h | 483,27 | 0,2192 | 512,28 | 100,72 | 733,66 |
| $\bar{c}$ | 512,00 | 0,2333 | 545,30 | 98,64 | 748,50 |

Werden die in dieser Tabelle sich entsprechenden Messingplatten und Luftsäulen mit einander zu Zungenpfeifen verbunden, so erhält man compensirte Orgelpfeifen, welche genau folgende Töne geben:

as, a, b. h, $\overline{c}$.

Später hat Weber zu der vorigen Compensation noch eine andere gefügt *), welche nämlich die Temperatur betrifft, indem durch diese Compensation erreicht wird, daß eine Reihe von Zungenpfeifen, welches auch ihre gemeinschaftliche Temperatur sein mag, ihre Schwingungsverhältnisse unveränderlich erhält und nie eine Verstimmung der Tonverhältnisse durch die Temperatur bei ihnen veranlaßt wird.

Die Bedingung, welcher Zungenpfeifen genügen sollen, damit sie auf diese Weise compensirt sind, ist folgende:

$$\frac{A}{A\Omega + 2n} = \text{Const.}$$

$$\text{wo } A = \frac{ak}{\Omega^2}\left(\text{tang.}\ \frac{\pi l n'}{\Omega} + \frac{\pi l n'}{\Omega}\ \sec^2\ \frac{\pi l n'}{\Omega}\right)$$

Die Buchstaben haben dieselbe Bedeutung als in der Formel S. 329, aus der diese Formel hergeleitet ist.

Wäre der Werth von $\frac{A}{A\Omega + 2n}$ nicht constant, sondern bei einer höhern Zungenpfeife $= \alpha$, bei einer tiefern $= \beta$, so würde ihr Intervall $= \nu$ bei jeder Temperaturerhöhung $= dt$ um $d\nu$ sich ändern, und zwar ist dann

$$d\nu = \nu\,(\alpha - \beta)\,\frac{1{,}89\ .\ dt}{\sqrt{1 + 0{,}00375\ .\ t}}$$

Dieser Werth von $d\nu$ drückt die Verstimmung aus, welche das Intervall zweier beliebiger nicht compensirter Zungenpfeifen bei jeder Temperaturveränderung erleidet.

## Construction einer Zungenpfeife zu akustischen Versuchen, namentlich zur Erlangung eines Normaltons.

Es ist in mehrfachem Bezuge sehr wünschenswerth, ein Instrument zu besitzen, mittelst dessen sich ein in der Höhe stets gleich bleibender Ton, bei allen Änderungen seiner Stärke, erhalten läßt. Weber empfiehlt hierzu **) ganz besonders eine compensirte Orgelpfeife von gehöriger Einrichtung, zu deren Construction er folgende Regeln giebt.

Sie besteht im Wesentlichen aus einem Luftkanale a b (Fig. 54.), der an dem einen Ende a offen, am andern b verschlossen, und rings mit sehr soliden Wänden, z. B. aus 3 bis 4 Linien dickem Holz oder Metall, umschlossen ist. Die feste Wand fehlt an einer Stelle c d. Statt ihrer ist daselbst eine elastische Platte von Metall angebracht, die nur mit ihrem

*) Pogg. XVII. 244.
**) Pogg. XVI. 183.

Ende d durch Verbindung mit der dicken unerschütterlichen Wand d e der Röhre fixirt ist. Mit den übrigen Rändern kann sie sich frei bewegen, ungeachtet sie die Öffnung c d sehr genau verschließt. Die nähere Beschreibung ist folgende:

1) Luftcanal der Zungenpfeife. Man kann cylindrische, aber auch eben so gut rechtwinklicht prismatische Röhren anwenden, und man hat dann sogar den doppelten Vortheil, daß die Luftschwingungen in dieser Röhre, weil alle Schnitte senkrecht auf die Platte gleich sind, noch einfacher werden, und zugleich durch das Verhältniß der Breite und Dicke der Röhre, die Stärke und der Klang (timbre) des Tones moderirt werden kann. — Die Wände müssen, damit sie nicht an den Schwingungen der Luft Theil nehmen, sehr dick, z. B. 3 bis 6 Linien dick, gemacht werden. Diese Röhre kann von Holz oder Metall sein. Die Ränder aber, welche die Stelle begränzen, wo die elastische Platte eingesetzt werden soll, müssen von Metall, ganz eben und parallel gearbeitet sein. Im Zustande der Ruhe berührt diese elastische Platte c d diese Ränder nur bei d.

2) Die elastische Platte der Zungenpfeife. Die elastische Platte c d der Zungenpfeife muß aus einem sehr elastischen, gleichartigen, schwer oxydirbaren Metalle, wie Messing oder Neusilber, oder einer Legirung von Silber und Kupfer, verfertigt werden. Alle ihre Oberflächen müssen eben und parallel sein. Für den Ton eingestrichen a kann sie $\frac{1}{2}$ Linie dick, 6 bis 8 Mal breiter und 36 Mal länger sein. Am besten ist es, wenn sie eben so breit wie der Luftcanal gemacht wird, so daß sie vollkommen den Luftcanal schließen kann, ohne eine Friction an den Rändern seiner Wände zu erleiden.

Wendet man indeß cylindrische Röhren an, so muß man die Breite der elastischen Platte etwas kleiner als den Durchmesser der Röhre machen. Die Befestigung der Platte an eine solche cylindrische Röhre beschreibt Weber folgendermaßen*):

Die cylindrische Röhre ist an der Stelle, wo die Wand fehlt, mit einem messingenen Rahmen versehen, dessen Ränder eben und abgeschliffen sind. Auf den einen der vier Ränder dieses Rahmens wird die elastische Platte mit ihrem zu fixirenden Ende gelegt und dasselbe mit einem Ringe befestigt, der durch eine Schraube an die obere Fläche der Platte gepreßt wird, so daß sich das Ende der elastischen Platte von unten und oben zwischen dem Metallrahmen und Metallringe fixirt findet.

3) Der Luftbehälter der Zungenpfeife. Statt des Behälters von verdichteter Luft, wozu in Orgelpfeifen die mit dem Blasebalge in Verbindung stehenden Windladen dienen, kann man sich bei den Versuchen gewöhnlich des Mundes bedienen; jedoch ist eine Windlade mit Blasebalg vorzuziehen, weil die Dünste, die die ausgeathmete Luft enthält, die Wände der Röhre und die Flächen der Platte befeuchtet, und diese Feuchtigkeit die

*) Eine Abbildung hierzu s. in Pogg. XIV. Taf. VI.

Platte in ihrer Schwingung etwas beschränken kann. Einer Windlade kann man auch eine beliebige Größe geben, und es ist gut, daß diese nicht unbeträchtlich ist, weil sich dann die Verdichtung der Luft in ihr desto gleichförmiger erhalten kann.

Zu bemerken ist noch, daß, damit der Ton einer auf die beschriebene Weise constituirten Zungenpfeife auch bei jeder Stärke des Anblasens wirklich unabänderlich hoch bleibe, Platte und Luftsäule den Bedingungen der Compensation genügen müssen, wovon S. 330 die Rede gewesen ist.

---

## VII. Stimme und Gehör.

---

### Über die Stimmwerkzeuge, von Granville *).

Dr. Granville, welcher 8 Jahre lang Arzt bei der Oper (in London?) gewesen ist, hat folgende Bemerkungen gemacht: bei den Tenorstimmen ist das Zäpfchen dick und fleischig; das Entgegengesetzte findet Statt bei den Sopranstimmen, wie z. B. bei Madam Ronzi de Begnis, wo es außerordentlich dünn und am Ende spitzig ist. Bei Madam de Begnis besonders hat es die Gestalt der Spitze eines gleichschenklichen Dreiecks und kaum die Länge von $\frac{1}{10}$ Zoll. Diese Bemerkung hat er auch bei allen Altstimmen gemacht.

### Über den Mechanismus der menschlichen Stimme beim Gesange, von Bennati **).

Von den Untersuchungen Bennati's über diesen Gegenstand ist nur erst ein (günstiger) Bericht Cuvier's an die französische Academie bekannt, welcher folgendes enthält:

Man weiß schon seit langer Zeit, daß, wenn die Stimmritzenbänder die Hauptrolle spielen bei Hervorbringung der Stimme, andere Organe jedoch sehr kräftig mitwirken zu Modification ihres Klanges und Tons. Ganz neuerdings hat Savart sogar den Einfluß angegeben, den die Form der Mundhöhle und der darin befindlichen Organe darauf ausüben: jedoch hatte er dies nur ganz im Allgemeinen gethan. Bennati hat über diesen Gegenstand viel positivere Begriffe gegeben. Er hat erkannt, daß die hohen Töne, welche man mit dem Namen Falset- oder Fistelstimme belegt hat, fast ganz im Rachen (détroit du gosier) gebildet werden, und daß das Gaumensegel sehr kräftig mitwirke zu ihrer Erzeugung.

*) Froriep's Notiz. Nr. 9. des XXIX. Bandes.

**) Schweigg. J. LIX. 260 oder Froriep's Notiz. Nr. 16. des XXVII. Bandes S. 241.

Der Einfluß dieser Organe ist so wesentlich, daß sich durch bloße Beschauung der Mundhöhle erkennen läßt, ob eine Person zum Singen hoher Töne organisirt sei oder nicht. Herr Bennati hat bemerkt, daß diejenigen Personen, welche eine Sopranstimme haben, viel voluminösere Zungen besitzen als andere (der Unterschied kann bis zum Dritttheil des Totalvolums und darüber steigen), und der Rachen ist viel mehr entwickelt. Interessante Beobachtungen tragen dazu bei, die Meinung des Herrn Bennati zu unterstützen. Ein Individuum, bei welchem man genöthigt war eine der Mandeln auszuschneiden, verlor zwei Noten der natürlichen Stimme und gewann zu gleicher Zeit vier Noten der Fistelstimme. In einem andern Falle wurden die Beobachtungen des Herrn Bennati mit glücklichem Erfolg angewandt zur Erkennung eines Abscesses, der seinen Sitz in einer der Mandeln hatte. Der Arzt, welcher die Existenz desselben muthmaßte, ohne jedoch seiner Sache gewiß zu sein, gerieth, den Ansichten des Herrn Bennati gemäß, auf den Einfall, den Kranken zur Ausstoßung hoher Töne bei offenem Munde zu veranlassen. Während der Hervorbringung dieser Töne wurden die Mandeln sichtbar und die Krankheit außer Zweifel gesetzt.

Die genaue Kenntniß der zur Bildung der verschiedenen Töne thätigen Organe erklärt die Verschiedenheit der Krankheiten, denen die Personen, welche sich zu häufigen Anstrengungen beim Gesange hingeben, unterworfen werden können. Bei denen mit Baßstimmen werden vorzüglich die unteren Theile der Brustorgane angegriffen, während die, welche gewöhnlich hohe Töne singen, in der Regel Beschwerden in der Gegend des Rachens, im Gaumensegel und in den benachbarten Theilen empfinden. Auch die Krankheiten, denen diese Personen in Folge angestrengter Gesangübungen unterworfen sind, ergreifen besonders die genannten Theile, und dies ist der Grund, warum sie bei letzteren gewöhnlich minder schwer sind.

## Über die größte, noch wahrnehmbare, Tonhöhe, von Savart *).

Die Hauptresultate der nachfolgenden Untersuchungen sind:

1) Es können bei gehöriger Stärke noch Töne vernommen werden, die 48000 einfachen Schwingungen in der Secunde oder 24000 Schlägen (bei Anwendung der Sirene oder eines gezähnten Rades zur Tonerzeugung) entsprechen, und wahrscheinlich würden sich bei größerer Verstärkung der Töne, als Savart anwandte, noch höhere Töne wahrnehmen lassen.

2) Zwei auf einander folgende Schläge oder Stöße (äquivalent 4 auf einander folgenden Schwingungen) sind (und zwar selbst für die höchsten noch hörbaren Töne) schon hinreichend, einen vergleichbaren Ton

*) Ann. de Ch. et de Phys. XLIV. 337; oder Poggend. XX. 290; oder Baumg. Zeitschr. IX. 116.

zu bilden, und die Zeit, welche zwischen den beiden Schlägen verfließt, bedingt den Grad der Höhe des Tons, so daß z. B. zwei Schläge, die in doppelt so großer Zwischenzeit erfolgen, die untere Octave geben u. s. f.

3) Die Dauer, die ein Ton haben muß, um gehört zu werden, ist in demselben Verhältniß kürzer, als der Ton höher ist, denn die Zwischenzeit zwischen zwei auf einander folgenden Schlägen, die angegebenermaßen selbst bei den höchsten Tönen noch hinreichend sind, einen Ton zu bilden, nimmt in entsprechendem Grade ab.

4) Die Empfindung des Tons hält (analog wie beim Lichte) noch eine gewisse Zeit an, nachdem die Ursache desselben schon vorübergegangen ist; die Länge dieses Nachhaltens, oder wenigstens die Bestimmbarkeit dieser Länge, hängt aber von zu vielen relativen Umständen ab, um etwas darüber festsetzen zu können.

Geschichtliches. Über die Gränze der noch hörbaren hohen Töne hat aus Mangel hinreichend genauer Untersuchungen bis jetzt nicht die mindeste Übereinstimmung Statt gefunden. Chladni nimmt an, daß noch Töne hörbar seien, die aus etwa 12000 einfachen Schwingungen in der Sec. entspringen. Biot setzt diese Gränze auf den Ton einer offenen Pfeife von 18 Lin. Länge, welchem Tone er 8192 einfache Schwingungen beilegt. Wollaston behauptet, niemals höhere Töne gehört zu haben, als die einer Pfeife von der Länge eines Viertelzolls; da er aber nicht sagt, ob die Pfeife offen oder gedeckt war und welchen Durchmesser sie hatte, so kann man nicht wissen, wie viele Schwingungen durch sie hervorgebracht wurden. An einer andern Stelle sagt Wollaston, daß die höchsten Töne, welche man wahrnehmen könne, aus 600 bis 700 Mal schnellern Schwingungen hervorgingen, als die tiefsten noch hörbaren Töne. Nimmt man nun an, die letzteren entsprängen aus 30 einfachen Schwingungen in einer Secunde, so folgt daraus, daß, nach Wollaston, die Gränze in der Höhe bei 18000 bis 21000 einfachen Schwingungen in der Secunde liege. Die Unbestimmtheit über diesen Gegenstand veranlaßte Savart, neue Versuche darüber anzustellen.

Er wandte, um zur Bestimmung der noch hörbaren höchsten Töne zu gelangen, theils longitudinalschwingende, theils transversalschwingende Stäbe, theils Orgelpfeifen, theils endlich, da mittelst dieser Mittel keine bis zu hinreichenden Graden starken Töne hervorgebracht werden konnten, das Mittel der gezähnten Räder an, wovon S. 251 die Rede war. Aus den Versuchen mit letzteren sind die Definitivresultate abgeleitet; doch wird es nicht ohne Interesse sein, auch die Versuche mit ersteren Mitteln anzuführen.

### Detail der Versuche.

Zu Resultat 1). Savart fand, daß nicht nur er selbst, sondern auch die meisten Personen, noch sehr deutlich die Töne eines longitudinalschwingenden, an beiden Enden freien, Glascylinders von 3 Millimeter

Durchmesser und 159 Millimeter Länge zu hören vermochte, ungeachtet diese Töne das Resultat von ungefähr 31000 Schwingungen in der Secunde sind. Bei Anwendung noch dünnerer Glasstäbe versuchte Savart noch kürzere Längen derselben, und beobachtete, daß, wenn sie ungefähr 150 Millimeter Länge hatten, wo sie mehr als 33000 einfache Schwingungen in der Secunde machen, der Ton bald gehört, bald nicht gehört wurde, was entweder von veränderlicher Empfindlichkeit des Ohres oder davon abhing, daß es nicht immer gleich gut gelang, den Stab in Erschütterung zu versetzen.

Savart versuchte endlich, mittelst transversaler Erschütterung kleiner, mit einem ihrer Enden in einem Schraubstock befestigter, Stahlstäbe zu demselben Resultate zu gelangen. Da der Stab eine ungleich geringere Masse besaß und schwieriger zu erschüttern war, so hatten die Töne eine geringere Intensität, dennoch aber beobachtete Savart, daß man bei diesem Verfahren selbst Töne, entspringend aus etwa 30000 bis 32000 einfachen Schwingungen in der Secunde, was jedoch nur annähernd ist, hören konnte.

Mittelst sehr kleiner Luftsäulen, die nach Art der Orgelpfeifen in Schwingung versetzt wurden, vermochte Savart nicht mit Sicherheit über 20000 einfache Schwingungen in der Secunde herauszuziehen, da jenseits dieses Punctes die Töne zwar noch hörbar, aber nur sehr schwer unter den Umständen dieser Erregungsart der Schwingungszahl nach vergleichbar sind.

Aus diesen ersten Versuchen nun scheint hervorzugehen, daß das menschliche Ohr keine Töne von mehr als etwa 32000 einfachen Schwingungen in der Secunde hören könne. Indeß in Betracht, daß, um diesen Punct zu erreichen, Körper von sehr unbedeutenden Dimensionen angewendet werden müssen, die folglich Schwingungen von sehr kleiner Amplitude machen, suchte Savart ein anderes Mittel auf, mittelst dessen sich Töne von beliebiger Höhe und größerer Stärke als im vorigen Falle hervorbringen ließen, welches er in der Anwendung der gezähnten Räder fand, wovon S. 251 die Rede war.

Da die ersten Versuche mit Rädern von 24 bis 48 Centimentern Durchmesser, welche 360 bis 400 Zähne auf dem Umfange trugen, das Resultat nicht weiter erhöhten, als schon die früheren Versuche mit andern Verfahrungsarten, indem der Ton bei den Rädern von 48 Centimetern Durchmesser und 400 Zähnen bei 12000 bis 15000 Schlägen in der Secunde aufhörte, wahrnehmbar zu sein, so wandte jetzt Savart einen andern Apparat an, dessen gezähntes Rad 82 Centimeter im Durchmesser hielt und 720 Zähne im Umfang hatte.

Nun hörte man die Töne selbst noch bei 24000 Schlägen in der Secunde, „und“, sagt der Verfasser, „obgleich die Stärke des Tons, die bei 12000 bis 15000 Schlägen in der Sec. sehr groß war, alsdann anfing bedeutend abzunehmen, so kann ich doch nicht sagen, bei welchem

Puncte der Ton vollständig unwahrnehmbar geworden wäre, weil das Rad, mittelst dessen ich das gezähnte Rad in Bewegung setzte, nicht groß genug war, um die Umdrehungsgeschwindigkeit noch mehr zu erhöhen". Dieser Umstand verhinderte Savart, seine Versuche noch weiter zu treiben.

Zu 2) und 3). Gesetzt man habe ein Rad mit 1000 Zähnen besetzt, das sich in 1 Secunde einmal umdrehe. Man zeichne den Ton auf und nehme von der Hälfte des Umfangs die Zähne fort. Es ist klar, daß der Ton dadurch nicht geändert wird, weil in einer der halben Secunden genau dieselbe Anzahl von Schlägen geschieht, wie vor der Wegnahme der Zähne, nur wird auf den Ton eine Stille von $\frac{1}{2}$ Secunde folgen, wenn der Eindruck auf das Gehörorgan nicht länger dauert, als die Thätigkeit der Ursache, die ihn hervorbrachte, wie auch die Erfahrung bestätigt. Es fragte sich nun, wie viel Zähne man so fortnehmen könne, ohne daß der Ton seine wesentlichen Eigenschaften verliere. Zu dem Ende verfertigte Savart ein Rad, dem sich nach Belieben alle Zähne nehmen und wieder geben ließen, und fand solchergestalt, daß, wie schnell sich auch das Rad drehte, und wie groß auch die Zahl der Zähne war, man sie doch alle bis auf zwei fortnehmen konnte, ohne daß der Ton bis zu dieser Gränze seine Höhe änderte, und daß es mit einiger Achtsamkeit immer möglich war, den Einklang mit ihm auf einem Instrumente herzustellen.

Läßt man auf dem Umfange des Rades nur einen einzigen Zahn stehen, so erzeugt der einzige Schlag, welchen man dann bei jedem Umlauf des Rades erhält, zwar immer noch einen Schall für sich, der aber nur dem vergleichbar ist, welchen z. B. auch ein einziger Hammerschlag hervorbringen könnte und derselbe bei größerer und kleinerer Umdrehungsgeschwindigkeit ist, da er nicht von der periodischen Wiederkehr des Schlages, sondern von den durch den einzigen Schlag hervorgebrachten Erschütterungen abhängt. Bloß, wenn das Rad mehr als 32 Umläufe in der Secunde macht, tritt eine zur Erzeugung eines anhaltenden Tons hinreichend rasche periodische Wiederkehr des Schlages von dem einen Zahne ein, und in der That hört man dann auch einen eigenthümlichen und aushaltenden Ton, der desto höher ist, je beträchtlicher die Zahl der Umläufe ist.

Zu 4). Gesetzt ein Rad drehe sich mit gleichförmiger und bekannter Geschwindigkeit, und man nehme ihm einen seiner Zähne, so ist klar, daß dadurch eine Unterbrechung in dem Tone entstehen wird, sobald die Empfindung nicht noch nach beendigter Wirkung der erzeugenden Ursache anhält; und, wenn sie eine mehr oder weniger lange Zeit hindurch anhält, wird man sie messen können durch die Zahl der Zähne, welche man fortnehmen muß, um die Unterbrechung wahrnehmbar zu machen. Indem Savart auf diese Weise verschiedene Versuche anstellte, erkannte er auf unzweideutige Weise, daß der Eindruck in der That noch einige Zeit anhält, nachdem die erzeugende Ursache nicht mehr wirkt; allein er findet es bis jetzt unmöglich, in dieser Beziehuug zu genauen Bestimmungen zu gelan

gen, weil der Eindruck allmälig erlischt und man nicht sagen kann, ob er noch besteht oder völlig verschwunden ist. Überdies schien eine veränderliche Empfindlichkeit des Gehörorgans auch das Urtheil zu modificiren; denn nicht nur geschah es mehrere Male, daß Savart, um die Unterbrechung wahrzunehmen, weit mehr Zähne wegnehmen mußte, als bei anderen Versuchen, die er einige Stunden oder Tage vorher angestellt hatte, sondern es fällten auch verschiedene Personen fast immer ein verschiedenes Urtheil über diesen Punct.

## Über die geringste, noch wahrnehmbare Tonhöhe, von Savart *).

Bisher hat man gewöhnlich angenommen, daß die tiefsten, noch wahrnehmbaren Töne solche sind, welche durch 32 einfache Oscillationen in der Secunde hervorgebracht werden. Aus den nachfolgenden Versuchen Savarts erhellt jedoch, daß mit Hülfe eines tonerzeugenden Mittels, das auf das Gehör eine Folge von Eindrücken, deren jeder länger als $\frac{1}{16}$ Secunde dauert, hervorzubringen vermag, sich noch Töne wahrnehmen lassen, die sieben bis acht Schlägen in der Secunde, was 14 bis 18 einfachen Oscillationen in der Secunde entspricht, zugehören, und wahrscheinlich würden sich, wenn man die Savart'sche Methode noch weiter triebe, als von ihm geschah, noch tiefere Töne wahrnehmen lassen, so daß hier keine Gränze Statt zu finden scheint.

Das tongebende Mittel, dessen sich Savart zu diesen Versuchen bedient **), beruht auf Folgendem:

Wenn ein Rad, das mehr oder weniger Speichen (rais) hat, gedreht wird, so pflanzt es der umgebenden Luft eine Bewegung nach derselben Richtung, als es selbst hat, ein. Wenn man nun, während die Luft sich in dieser Bewegung befindet, dem Rade in der Richtung einer seiner Radien den Rand einer dünnen Platte oder eines Kartenblattes nähert, dessen Ebene senkrecht auf der des Radius ist, so wird offenbar der Luftstrom beim Vorbeigehen einer Speiche des Rades von diesem Hemmniß momentan unterbrochen werden und die Luft bis zu der Zeit, wo das Vorbeigehen Statt findet, sich oberhalb des Hindernisses zusammendrücken und zugleich unterhalb desselben ausdehnen, nach geschehenem Vorbeigehen aber die zusammengedrückte Luft sich sofort in den erzeugten unvollkommen leeren Raum hineinstürzen. Ist nun die Drehungsgeschwindigkeit hinlänglich groß, so wird durch diese plötzliche Bewegung der Luft ein ähnliches Geräusch erzeugt, als beim Hineinstürzen der Luft in ein Gefäß, welches mehr oder weniger verdünnte Luft enthält, entsteht, und da dieser Umstand sich bei jeder Speiche wiederholt, so entsteht solchergestalt eine Aufeinanderfolge

*) Ann. de Ch. et de Phys. XLVII. 69.

**) Es ist nicht unter den tongebenden Mitteln, die von S. 251 an aufgeführt worden sind, namhaft gemacht, da mir die Abhandlung, wovon dies der Auszug ist, nur eben erst zu Händen gekommen ist. F.

kleiner Explosionen, deren Anzahl in zusammengesetztem Verhältnisse zu der Zahl der Speichen und der Drehungsgeschwindigkeit des Rades steht, und die, wenn ihrer eine hinlängliche Anzahl in einer Secunde Statt findet, einen anhaltenden Ton veranlassen, der eine große Intensität erlangen kann, wenn man, anstatt eines einzigen Hemmnisses, deren 4 in einer und derselben Diametralebene des Rades anbringt. — Durch mehrere Beobachtungen über die Wirkungsweise dieses tongebenden Mittels fand Savart; 1) daß die Intensität des Tons sehr rasch mit der Länge der Speichen zunimmt; 2) daß, um recht scharfe (secs) und recht intensive Schläge zu erhalten, die Kante (arête) der Speichen der Kante des Hemmnisses (obturateur) im Augenblicke des Vorbeigehens parallel sein muß, und der Rand des Hemmnisses um nicht mehr als 1 Millimeter von der Ebene, in welcher das Rad sich dreht, entfernt sein darf; 3) endlich, daß die Schläge für eine gegebene Anzahl derselben in bestimmter Zeit um so intensiver sind, je kleiner die Anzahl der Speichen ist, oder, was dasselbe ist, mit je größerer Geschwindigkeit sie begabt sind.

Der auf diese Umstände gegründete Apparat, dessen sich Savart bedient, ist nun folgendergestalt eingerichtet. Er besteht aus einem Rade von 4½ Fuß Durchmesser, welches bestimmt ist eine Eisenstange von ungefähr 2½ Fuß Länge, 2 Zoll Breite und 6 Linien Dicke in Drehung zu versetzen, durch welche in der Mitte ihrer Länge und senkrecht auf ihre breiteren Flächen eine Axe hindurchgeht, die sich in Lagern (coussinets) dreht, die an einer sehr festen und schweren Bank (banc) befestigt sind, auf welcher auch das große bewegende Rad angebracht ist. Zu jeder Seite der Kreisebene, welche von der Stange beschrieben wird, und in der Richtung einer ihrer Diametralebenen sind zwei dünne Breter angebracht, welche auf den oberen Flächen der Bank ruhen und sich den Flächen der Stange, die zwischen ihnen circuliren soll, mehr oder weniger nähern lassen. Mittelst eines Zählers, der an der Axe der Stange selbst angebracht ist, kann man die Zahl der Drehungen, die sie in 1 Secunde macht, leicht bestimmen. Offenbar ist bei dieser Anordnung die Anzahl der Schläge doppelt so groß, als die Anzahl der Umdrehungen, weil bei jeder halben Umdrehung des Rades ein Schlag entsteht.

Wenn das Rad sich zu drehen anfängt und die Geschwindigkeit nur noch klein ist, hört man erst von einander abgesonderte Schläge, die ausnehmend schwachen Explosionen gleichen, mit zunehmender Geschwindigkeit aber nimmt die Intensität der Schläge immer mehr zu, so daß man versucht wird zu glauben, die Stange schlage gegen einen festen Körper an, und zugleich hört man einen außerordentlich tiefen Ton, der zuerst sehr schwach vernommen wird, dann aber eine außerordentliche Intensität erlangt, wenn die Schläge nahe genug auf einander folgen, daß der Eindruck, den ein jeder derselben auf das Gehörorgan hervorbringt, eine hinreichende Zeit dauert, um eine genügende Superposition der einzelnen Schläge zu gestatten. Insofern aber bei dem beschriebenen Apparate die

Anzahl der Umdrehungen nicht wohl über 25 bis 30 in der Secunde betragen konnte, wurde außer dem anhaltenden Tone immer noch jeder Schlag besonders vernommen, so daß der Ton eine sumsende Beschaffenheit (son ronflant) hat *). Dabei ist seine Intensität so groß, daß alle Personen, die diesen Versuchen beiwohnten, darüber erstaunt waren, und daß man es in einem sehr großen Zimmer (pièce) unmöglich fand, das Geringste vom Tone einer Orgel oder eines Basses oder von den Tönen der menschlichen Stimme zu hören, während der Apparat im Gange ist. Was den wesentlichen Punkt anlangt, genau zu bestimmen, bei welcher Anzahl von Schlägen man den anhaltenden Ton zu hören anfängt, so wurden Versuche darüber zu wiederholten Malen in Gegenwart einer großen Menge von Personen angestellt. Alle stimmten dahin überein, diese Gränze bei 7 bis 8 Schlägen in der Secunde festzusetzen, welches 14 bis 16 einfachen Schwingungen in der Secunde entspricht. Indeß kann diese Gränze nicht für absolut angesehen werden, denn bei einem Apparate von kleinerm Radius erscheint der anhaltende Ton erst bei einer viel größern Anzahl von Schlägen, so daß der Schluß nahe liegt, wenn die bewegliche Stange länger wäre, so würde vermöge der größern Stärke der Schläge der anhaltende Ton bei einer viel geringern Anzahl von Schlägen gehört werden.

### Empfindlichkeit des Ohrs für Unterscheidung der Töne.

Delezenne**) hat durch präcise Versuche ausgemittelt, welchen Grad von Empfindlichkeit das Ohr für die Unterscheidung der Töne hat. Die Hauptresultate seiner Untersuchungen sind folgende:

Das Ohr eines Künstlers vermag ein Intervall von $\frac{1}{4}$ Comma $\left(\frac{81}{80}\right)^{\frac{1}{4}}$ das des bloßen Liebhabers von $\frac{1}{2}$ Comma $\left(\frac{81}{80}\right)^{\frac{1}{2}}$ bei dem Einklange zu unterscheiden, doch müssen die Töne abwechselnd gehört werden; denn bei Vergleichung gleichzeitiger Töne vermag das Ohr noch größere Verschiedenheiten zu ertragen.

Das Ohr (unstreitig eines Künstlers) ist noch für ein Intervall von $\frac{1}{3}$ Comma bei der Octave empfindlich.

Bei der Quinte ist das Intervall von $\frac{15}{100}$ Komma für den Künstler und von $\frac{3}{10}$ Komma für Andere bemerklich, wonach also bei der Quinte kleinere Unterschiede geschätzt werden können, als bei der Octave.

Mehrere interessante, auf die Theorie der Musik Bezug habende, Resultate übergehen wir hier.

*) Bei Anwendung eines Rades von $2\frac{1}{2}$ Fuß Durchmesser, welches aus 8 Speichen besteht und eine hinlängliche Geschwindigkeit hat, um ungefähr 50 bis 60 Schläge in der Secunde hervorzubringen, sind die Töne von bewundernswürdiger Rundung, Kraft und Reinheit, und man kann den anhaltenden Ton nicht mehr von den periodischen Schlägen, die ihn erzeugen, unterscheiden.

**) Im Recueil des travaux de la soc. des sciences etc. de Lille. 1827; Auszug im Bull. univ. des sc. math. etc. XI. 275.

# Dritter Abschnitt.

## Lehre von der gewöhnlichen Elektricität.

---

### Erregung der Elektricität.

#### Elektricität durch Reiben von Porzellan.

Döbereiner *) hat gefunden, daß die zu pyropneumatischen Versuchen bestimmten Porzellanröhren, aus der Fabrik des Herrn Nathusius auf Althaldensleben, beim Reiben mit einem seidenen Tuche weit schneller und stärker elektrisch werden, als die Glasröhren, und daß man mit der dadurch erregten Elektricität sehr schnell kleine Leidener Flaschen bis zur Selbstentladung laden kann. Er empfiehlt daher solches Porzellan zu Elektrisirmaschinen.

#### Elektricität durch Reiben des Tuches **).

Muret de Bore hat über die Elektricität, welche verschieden gefärbte Tücher beim Reiben zeigen, einige interessante Beobachtungen gemacht. Er bemerkt u. a., daß die Elektricität bei erhöhter Temperatur sich stärker entwickelt, so daß lichtblaue Tücher, die im Januar bei sehr trockener Witterung, im Sonnenscheine getrocknet, keine Elektricität zeigten, selbst dann nicht, wenn sie stark gerieben wurden, im Februar und März, dem warmen Sonnenscheine ausgesetzt, schon nach ganz gelindem Reiben ziemlich lange Funken gaben. Besonders aber zeigten sich in dieser Zeit die schwarzen, rothen und dunkelblauen Tücher stark elektrisch. Ein bemerkenswerther Umstand ist, daß die eine Hälfte eines cochenilleroth gefärbten Stückes Tuch, welches im Freien getrocknet worden war, Funken gab, während die andere Hälfte, die zu derselben Zeit in einer dunkeln, durch erwärmte Luft geheizten, Trockenstube getrocknet worden war, keine Elektricität wahrnehmen ließ.

Köchlin-Schouch ***) erzählt, daß in den Kattundruckereien bei trockener Luft bisweilen fußlange Funken vom Tuche der Druckwalzen auf genäherte Leiter überspringen.

*) Schweigg. J. LXI. 381.
**) Ebend. LVI. 485.
***) Erdmann's J. III. 197.

Elektricität durch Erwärmen von Glas.

Das Glas scheint mit besonderer Leichtigkeit Elektricität durch Erwärmung anzunehmen, ein Umstand, auf den es sehr wichtig ist aufmerksam zu machen, da gar manche für sonderbar gehaltene Thatsachen hierdurch ihre Erklärung zu finden scheinen. Mehrere hierher gehörige Versuche hat Matteucci *) angestellt, bei denen er den Erfolg allerdings einer elektrisirenden Eigenschaft des Sonnenlichts beimißt, wo er jedoch, zusammengehalten mit den nachher anzuführenden Erfahrungen von Muncke, unstreitig auf Rechnung der Erwärmung durch die Sonne zu setzen ist.

Matteucci setzte ein empfindliches Goldblattelektrometer mit Condensator den Sonnenstralen aus und bemerkte bald, daß die Blätter divergirten und zwar nach der Seite des Glasgehäuses hin sich öffneten, auf welche die Sonnenstralen direct einwirkten, gleich als ob sie von denselben angezogen würden.

Er stellte einige Glastafeln an die Sonne und berührte sie nach wenigen Minuten an verschiedenen Stellen mit der Elektrometerkugel; es erfolgte deutliche Divergenz.

Auch wenn das Glas durch starke Erhitzung von aller Feuchtigkeit befreit, dann unter einer, mittelst Wärme und Chlorcalcium ausgetrockneten, Glocke der Wirkung der directen Sonnenstralen ausgesetzt wurde, zeigte es Elektricität, so daß also Verdampfung einer unmerklichen Wasserschicht hierbei nicht Schuld sein konnte.

Nun behauptet allerdings Matteucci, daß, wenn er eine Glastafel mittelst dunkler Wärme erhitzt hatte, nie eine Spur von Elektricität durch Prüfung mit dem Elektrometer daran wahrgenommen worden sei, und schließt eben hieraus, daß es nicht die Wärme, sondern das Licht der Sonnenstralen ist, welches das Glas elektrisch mache; indeß möchte diese negative Erfahrung Matteucci's nur beweisen, entweder daß seine Prüfungsmittel nicht empfindlich genug waren, oder daß er die Erhitzung nicht unter hinreichend günstigen Umständen vorgenommen hatte, da folgende Erfahrungen Muncke's **), bei Gelegenheit der S. 78 erwähnten Störungen, die er an seiner Drehwage beobachtete, gemacht, keinen Zweifel über die Fähigkeit der Wärme, das Glas elektrisch zu machen, übrig zu lassen scheinen.

Als Muncke der gläsernen Halbkugel seiner Drehwage einen mit heißem Wasser gefüllten Rumford'schen blechernen Würfel näherte, wurde das Glas in solchem Grade elektrisch, daß es nicht bloß eine schnelle horizontale Drehung des Wagebalkens bewirkte, sondern sogar das Kügelchen sammt dem Wagebalken aus der Entfernung von 1 Zoll bis zum Anschlagen anzog, in einigen Fällen sogleich, in anderen erst nach einem mehrere

*) Quat. J. N. S. Nr. XI. (Jul. Sept. 1829.) 173; Nr. XII. (Oct. Dec. 1829.) 420; oder Schweigg. J. LVIII. 67; LIX. 369.

**) Pogg. XX. 417; XXII. 210.

Secunden dauernden, Festhalten abstieß, nach einiger Zeit der Ruhe aus der ihm mitgetheilten Entfernung abermals anzog, kurz ihm genau die so characteristischen Bewegungen mittheilte, als sie ein mit Elektricität geladener Conductor hervorbringt.

Übrigens überzeugte sich Muncke, daß die erwähnten von der Wärme abhängigen Bewegungen des Wagebalkens nicht bloß wenn das Gehäuse von Glas war entstanden, sondern auch, als er auf künstliche Weise dasselbe durch ein Gehäuse von Eis bei strenger Winterkälte, oder von Thon oder von Pappe ersetzte, so daß also auch diesen Substanzen das Vermögen, durch Wärme elektrisch zu werden, zukommt, wiewohl in schwächerm Grade.

Muncke bemerkt, es habe ihm während der großen Hitze des Junius und Julius geschienen, als habe eher eine Verminderung, als eine Vermehrung der elektrischen Erregungsfähigkeit des Glases und Thones Statt gefunden; als besonders merkwürdig aber erwähnt er den Umstand, daß sowohl beim Glase als auch beim Eise die Bewegungen des Wagebalkens erfolgten, wenn bei einer Temperatur von — 18° R. die Wärme im Saale um 3° bis höchstens 5° von der äußern verschieden war.

Analoge Beobachtungen als Muncke hat übrigens schon früher Pouillet *) gemacht, die Muncke bei dieser Gelegenheit näher erörtert. Pouillet hing feine Strohhalme an einem Haare von hinlänglicher Elasticität auf, um diese in einer gewissen Stellung zu erhalten, brachte diese Wagebalken unter die Glocke einer Luftpumpe und pumpte letztere bis zu 2 Millimeter Quecksilberhöhe aus, erwärmte sie dann einseitig von außen und beobachtete die hierdurch erzeugten Bewegungen der Strohhalme. Eine Wachskerze in 2 Fuß Abstand verursachte eine Abweichung des Strohhalms von seiner ersten Stellung; hauchte man auf die Glocke, so geschah dieses noch mehr; aber es war bald eine Anziehung, wenn der Strohhalm tief unten hing, bald eine Abstoßung, wenn er hoch herauf hing, und wenn der eine Strohhalm in dem obern Theile der Glocke, ein anderer in dem untern aufgehängt war und man eine Stelle des Glases zwischen beiden erwärmte, so wurde jener abgestoßen, dieser angezogen.

Pouillet nun leitet zwar die hier beobachteten Bewegungen von Strömungen der noch in der Glocke zurückgebliebenen verdünnten Luft ab, die durch die partielle Erwärmung entstanden seien; indeß zeigt Muncke durch eine ausführliche Erörterung, daß durch solche Luftströmungen das Phänomen keineswegs erklärlich sein würde.

Als beachtungswerth deutet übrigens Muncke bei Pouillets Versuchen den Umstand an, daß die Wirkung verstärkt worden sei, wenn man auf das Glas gehaucht habe; es scheint ihm dieß, in Verbindung mit der oben bemerkten Thatsache, daß die Austrocknung seiner Apparate in der Sonnenhitze die Empfindlichkeit derselben zu mindern schien, dafür zu spre-

*) Journ. de Pharm. XIV. 150.

chen, daß Feuchtigkeit der Erregung der Thermoelektricität eher günstig als hinderlich sei.

## Elektricitätsentziehung durch Flammen *).

Bonnycastle behauptet einen geladenen Elektrophordeckel in den Dampf von kochendem Wasser eingesenkt zu haben (es ist nicht angegeben wie lange), ohne Verlust von dessen Elektricität **); desgleichen habe er den Wind eines Blasebalgs 4 Secunden lang auf den Deckel getrieben, ohne daß er einen Verlust erfahren habe; er glaubt daher, daß, wenn elektrisirte Körper bei Annäherung von Flammen oder stark erhitzten Körpern ihre Elektricität verlieren, dies nicht sowohl auf einer leitenden Eigenschaft von Dämpfen oder Luftströmungen beruhe, als darauf, daß sehr starke Erhitzung der Elektricität ein erhöhetes Ausströmungsvermögen ertheile. Zwar scheinen Bonnycastle's Versuche nicht hinreichend, diesen Umstand zu beweisen, indeß sind sie jedenfalls insofern interessant, als sie zeigen, daß die Temperatur des Verbrennens der Körper von Einfluß auf das Vermögen ihrer Flammen ist, die Elektricität zu entziehen.

Versuch 1. Der geladene Deckel eines Elektrophors ***) wurde 1 Minute lang 1½ Zoll weit von der Flamme einer Kerze hingehalten, darauf sofort dem Elektrometer genähert. Er hatte alle Elektricität verloren.

Versuch 2. Der geladene Deckel wurde über eine zum dunkeln Rothglühen erhitzte Eisenmasse von mehreren Pfunden Gewicht, wie zuvor, 1 Minute lang gehalten. Er schien bei Annäherung an das Elektrometer nichts von seiner Elektricität verloren zu haben.

Versuch 3. Der Deckel ward über rothglühende Steinkohlen gehalten, von denen sich einige in weißglühendem Zustande befanden. Seine Elektricität ging verloren.

Versuch 4. Der Deckel ward über eine ähnliche Masse von Steinkohlen gehalten, von denen sich keine über der dunkeln Rothglühhitze befand. Es fand kein Verlust von Elektricität Statt.

Versuch 5. Der Deckel ward über verschiedene Flammen, namentlich von Schwefel, von Wasserstoff, über Platin, das durch einen Strom von Wasserstoffgas ins Weißglühen gebracht war, endlich über die Flamme von Alkohol gehalten. In allen Fällen, ausgenommen über der Flamme vom Schwefel, ging die Electricität gänzlich verloren. Die Flamme des Schwefels entzog zwar dem Deckel seine Elektricität, wenn sie intensiv genug war, um fast weiß zu erscheinen; beschränkte sich aber die Verbren-

*) Schweigg. LVIII 192.

**) Dieser Versuch steht unstreitig so im Widerspruche mit den bisherigen Annahmen, daß man ihm ohne Wiederholung keine Zuverlässigkeit beimessen wird.

***) Oder einer geladenen Leidener Tafel. Es ist nicht recht deutlich, was von beiden gemeint ist.

nung nur auf eine kleine Stelle und war die Flamme ganz blau, so fand wenig Verlust von Elektricität Statt.

Versuch 6. Der Deckel ward über ein kleines Stück Steinkohle gehalten, von welchem ein Punct mit dem Löthrohre in Weißgluht erhalten wurde. Der Verlust der Elektricität war vollkommen, welches zu beweisen scheint, daß, wenn beim Schwefel eine kleine brennende Stelle nicht dieselbe Wirkung als eine größere leistete, dies wohl von einer mindern Intensität, mit der die kleine Stelle brennt, herrührt. Man stellt das Experiment am besten so an, daß man ein ungefähr erbsengroßes Stück Steinkohle auf die Platte des Elektrometers legt und den geladenen Deckel darüber hängt. So lange die Steinkohle dem Verlöschen nahe ist, erfolgt keine Wirkung, so wie aber durch das Löthrohr ein glühender Punct daran hervorgebracht wird, divergiren die Blätter des Elektrometers und bleiben getrennt; und man wird finden, daß der Deckel alle Electricität verloren hat.

Die Elektricität entziehende Wirkung einer Lampe ist so kräftig, daß sich eine große Leidener Flasche leicht in 6 Zoll Entfernung vom ersten Conductor einer Elektrisirmaschine laden läßt, wenn man eine Lampe auf den Deckel (cover) der Flasche setzt. Die Ladung läßt sich bei diesem Versuche nicht über einen gewissen Grad treiben, und wenn die stralende Elektricität dann mit einem kleinen seidenen Schirm untersucht wird, so wird man sie positiv an einer Seite der Flamme und negativ an der andern finden, so daß, während ein Theil der Flamme die Flasche ladet, der entgegengesetzte sie entladet. Eine Flasche von $1\frac{1}{4}$ Quadratfuß Belegung ward in solcher Weise zu 10 bis 15 Grad des Quadranten-Elektrometers geladen, wenn sie 2 Fuß vom ersten Conductor einer 7zolligen Cylindermaschine stand. Wenn das Licht in einem metallenen Gefäß eingeschlossen ist, so daß es bloß noch so viel Communication mit der Atmosphäre hat, um brennend zu bleiben, so wird die Flasche ebenfalls noch geladen werden, wiewohl mit minderer Intensität; ist aber das Gefäß von Glas, so wird die Flasche gar keine Ladung erhalten und die Glashülle sich stark negativ zeigen. Eine Flasche wird nicht vollständig durch ein auf ihrem Gipfel stehendes Licht entladen werden, wenn die Luft still ist; aber ein Luftstrom erleichtert sehr das Vermögen brennender Körper, sowohl die Elektricität zu entladen als sie zu entziehen*).

Das Vermögen der Flamme, die Elektricität zu entziehen, soll nach Bonnycastle, nicht näher detaillirten Versuchen zufolge, innerhalb einer gewissen Gränze nach dem biquadratischen Verhältnisse der Entfernung ab-

*) Diesen Umstand sucht Bonnycastle durch die Annahme zu erklären, daß die stralende Elektricität an den Lufttheilchen adhärire und rings um die Lampe eine Atmosphäre von Elektricität bilde, die durch ihre Repulsion der ferneren Strahlung hinderlich ist, wenn sie nicht durch eine Bewegung der Luft entfernt wird.

F.

nehmen, über welche Gränze hinaus es schneller abzunehmen scheine. Doch gesteht er selbst, nicht immer constante Resultate erhalten zu haben.

## Vertheilung und Binden der Elektricität.

Über Vertheilung der Elektricität in isolirten Leitern, von Pfaff *). Biot führt in s. Lehrb. (der Übers. 2. Aufl. II. S. 192) mehrere Versuche über die Vertheilung der Elektricität in einem isolirten Leiter an, die nach der Prüfung Pfaff's sich nicht in der Wirklichkeit bestätigen, so daß Pfaff dafür hält, sie seien bloß nach einer nicht gehörig überdachten Folgerung aus andern Datis von Biot abgeleitet worden, indem sich bei genauerer Erwägung das Statthaben dieser Versuche selbst mit den bekannten Gesetzen der Elektricität nicht vereinbar zeigt.

Nach Biot: wenn man einem horizontalen cylindrischen, von Isolirfüßen getragenen, Leiter B, von dessen beiden Enden, so wie zwischen denselben, einfache Elektrometer aus Hollundermarkkügelchen an Leinfäden herabhängen, einen elektrisirten Körper A nähert, so divergiren die Elektrometer an den beiden Enden mit einander entgegengesetzter Elektricität, und um die Mitte des Cylinders befindet sich ein neutraler Punct, wo gar keine Divergenz Statt findet. Führt man längs des Cylinders eine unelektrische und an einem isolirten Seidenfaden schwebende Hollundermarkkugel hin, so wird sie allenthalben angezogen, außer an dem erwähnten mittlern Theile; ist aber diese Kugel elektrisirt, so wird sie von einem Ende des Cylinders angezogen, vom andern abgestoßen.

Dies findet nach Biot Statt.

Pfaff dagegen fand bei Wiederholung dieser Versuche, daß die Elektrometer an den beiden Enden des Cylinders nicht mit entgegengesetzter Elektricität aus einander gingen, sondern stets mit gleichnamiger, und zwar stets beide mit derselben Elektricität, welche der vertheilende Körper besaß; auch konnte er keinen Punct um die Mitte des Cylinders finden, wo die Elektrometer nicht divergirt hätten. Diese Divergenz geschah vielmehr in der ganzen Länge des Cylinders mit derselben Elektricität, welche der dem einen Ende genäherte, elektrisirte Körper besaß. Auch konnte Pfaff nie beobachten, daß ein mit einer gewissen Elektricität versehenes Korkkügelchen von der einen Hälfte des Cylinders angezogen, von der andern Hälfte abgestoßen werde, vielmehr fand er in der ganzen Ausdehnung des isolirten Leiters gleichmäßig entweder Anziehung oder Abstoßung nach Beschaffenheit der Elektricität, womit das Kügelchen geladen war.

Für den ersten Anblick scheinen nun allerdings die Resultate Pfaff's mit der Theorie der Vertheilung der Elektricität in directem Widerspruch zu stehen, da diese aussagt, daß der vertheilende Körper die gleichartige Elektricität des genäherten Leiters nach dem abgekehrten Ende desselben abstößt, die ungleichartige nach dem zugekehrten anzieht; Pfaff aber so-

*) Schweigg. J. LXI. 393.

wohl an dem zugekehrten als abgekehrten Ende eine elektrometrische Anzeige auf gleichartige Elektricität erhielt. Allein es muß in Betracht gezogen werden, daß die ungleichartige Elektricität in dem zugekehrten Ende gebundene ist, welche als solche eben so wenig auf das Elektrometer wirken kann, als die durch Vertheilung gebundene Elektricität in dem äußeren Belege einer Leidener Flasche; dagegen aber wird etwas gleichartige Elektricität nicht allein in das abgekehrte Ende des cylindrischen Leiters, sondern auch in die Kügelchen, in welche sich die Elektrometer endigen, zurückgetrieben werden und hierdurch mithin die Divergenz vermöge gleichartiger Elektricität bewirkt.

### Weber's Luftelektrophor.

Weber beschreibt in einer kleinen Schrift: „Der Luftelektrophor in seiner Vervollständigung rc. 1831" unter dem Namen Luftelektrophor folgenden, zwar schon früher von ihm angegebenen, jetzt jedoch etwas abgeänderten, einfachen Apparat, der, wie man ohne weitere Erörterung einsehen wird, im Principe ganz mit dem gewöhnlichen Elektrophor übereinkommt. Er besteht 1) aus einer mit Stanniol überzogenen Fläche, die übrigens isolirt ist; 2) einer über einen Rahmen gespannten Leinwandfläche. Beide werden im Winter am warmen Ofen wohl ausgetrocknet, darauf die auf die Tischfläche gelegte Leinwandfläche mit einem gut getrockneten Katzenbalg gerieben, während man den Rahmen der Leinwand und das Stanniol des Tisches durch die Hand in leitende Berührung mit dem Boden setzt, endlich die Hand weggezogen, um die Isolirung des ganzen Apparats herzustellen. So lange nun die Leinwandfläche auf dem Tischblatte liegen bleibt, wird weder Tisch noch Leinwand bemerkliche Elektricität zeigen; hebt man aber die Leinwand am Rahmen in die Höhe, so zeigen sowohl Leinwand als Tisch freie und zwar entgegengesetzte (erstere negative, letzterer positive) Elektricitäten.

Es leuchtet ein, daß dieser Erfolg ganz wie beim gewöhnlichen Elektrophor ein Spiel des Bindens und Freiwerdens der Elektricität ist; ich würde daher auch diesen Versuch nicht einmal erwähnt haben, indeß da der Verfasser glaubte, dem Aufschlusse des Geheimnisses des Luftelektrophors eine Schrift widmen zu müssen, so wollte ich ihn wenigstens in einem Artikel erwähnen.

### Gesetze der durch Binden angehäuften Elektritität.

Harris in Plymouth hat eine ausgedehnte Reihe Versuche über die Art, wie die Anhäufung gewöhnlicher (gebundener) Elektricität von statten geht, und die Gesetze ihrer Wirkungen, angestellt, welche in den Transactions of the Plymouth Society. 1830. pag. 97 enthalten sind. Da ich dieses Werk mir nicht habe verschaffen können, so muß ich mich begnügen, die Resultate dieser Versuche, so wie sie in dem Journ. of the royal Inst. 1831. Nr. 2. p. 380 mitgetheilt sind, anzuführen, wiewohl Manches hierin nicht recht deutlich ist.

1) Eine elektrische Anhäufung schreitet mittelst gleicher Incremente fort. Eine belegte Fläche nimmt bis zu ihrem Sättigungszustande immer gleiche Quantitäten Elektricität in gleichen Zeiten auf, wenn alle Umstände die nämlichen bleiben. Die Quantität, welche von dem äußern Belege weggeht *), ist immer proportinal der Quantität, welche dem Innern zuwächst.

2) Man kann die Quantität angehäufter Elektricität nach den Umdrehungen der Scheibe der Elektrisirmaschine schätzen, vorausgesetzt, daß diese in einem constanten Erregungszustande bleibt; oder auch durch die Explosionen einer mit dem äußern Belege verbundenen Flasche. Sie verhält sich wie die (geladene) Oberfläche, multiplicirt mit dem Zwischenraum, durch welchen die angehäufte Elektricität überspringen kann. Ist die Größe der Oberfläche constant, so verhält sie sich (die angehäufte Elektricität) einfach wie der Zwischenraum; ist der Zwischenraum constant, so verhält sie sich wie die Oberfläche. Sie verhält sich auch wie die Oberfläche, multiplicirt mit der Quadratwurzel der freien Wirkung oder Intensität **) (of the free action or intensity), und bei constanter Intensität verhält sie sich daher wie die Quadratwürzel der anziehenden Kraft.

3) Der Zwischenraum, durch welchen die angehäufte Elektricität überspringen kann, ist direct proportional der Quantität angehäufter elektrischer Materie und umgekehrt proportional der Oberfläche. Wenn erstere (Quantität) in demselben Maße zunimmt, als letztere (Oberfläche) abnimmt, so wird der Zwischenraum wie das Quadrat der Quantität elektrischer Materie wachsen.

4) Die Kraft elektrischer Anziehung ändert sich nach dem umgekehrten Verhältniß des Quadrats des Abstandes zwischen den Berührungspuncten der entgegengesetzten Conductoren, vorausgesetzt, daß die Oberflächen eben und parallel sind, oder, wenn die entgegengesetzten Oberflächen sphärisch sind, zwischen zwei Puncten, welche innerhalb der respectiven Hemisphären in einem Abstande $=\frac{1}{3}$ des Radius liegen (sehr undeutlich).

5) Die freie Wirkung oder Intensität ist direct proportional dem Quadrat der Quantität elektrischer Materie, und umgekehrt proportional dem Quadrat der Oberfläche. Sie verhält sich, alle übrige Umstände gleich gesetzt, direct wie der Effect eines Entladungsschlages auf einen Metalldraht. Wenn die Quantität elektrischer Materie und die Oberfläche zusammen zunehmen oder abnehmen, so bleibt die anziehende Kraft dieselbe. Wenn die elektrische Quantität in demselben Maße zunimmt, als die Oberfläche abnimmt, so nimmt die anziehende Kraft im Verhältniß der 4ten Potenz der elektrischen Quantität zu.

*) Unstreitig ist hierunter die durch Vertheilung in den Erdboden zurückgetriebene Elektricität zu verstehen.

**) Unstreitig ist hiermit die Intensität des nicht gebundenen Antheils der Elektricität verstanden.

6) Der Effect eines elektrischen Entladungsschlages auf einen Metalldraht hängt ausschließlich von der elektrischen Quantität ab, ohne daß die Intensität oder freie Wirkung einen Einfluß darauf ausübt. Sie vermindert sich, wenn die elektrische Materie auf mehrere Oberflächen vertheilt wird. Sie verhält sich wie das Quadrat der elektrischen Quantität; ferner wie das Quadrat des Zwischenraums, durch welchen die Elektricität überspringen kann; sie steht, bei Gleichheit aller übrigen Umstände, in directem Verhältniß der anziehenden Kraft oder freien Wirkung; sie verhält sich wie das Moment, mit welchem der Entladungsschlag durch das Metall hindurchgeht.

## Elektroskope.

### Gesetz für die Anzeigen mancher Elektroskope von Bary*).

Gesetzt wir hätten ein Elektroskop, welches sich auf folgende Einrichtung gründet.

Ein Hollundermarkkügelchen, welches das untere Ende eines in einer Verticalebene (um eine horizontale Axe) beweglichen feinen Drahtes bildet, steht im natürlichen Zustande mit einem andern, aber fixirten, Hollundermarkkügelchen so in Berührung, daß die ihre Mittelpuncte verbindende Linie horizontal und in der Ebene, in welcher sich der Draht bewegen kann, enthalten ist. Wenn man nun beiden Kügelchen gleichnamige Elektricitäten mittheilt, wird sich das bewegliche Kügelchen, vermöge der hierdurch eingepflanzten Abstoßung, vom festen Kügelchen entfernen, und der bewegliche Draht in einem Winkel gegen die Verticale zur Ruhe kommen, wo die Kraft, mit der ihn sein Gewicht und das der Kugel in die Verticale herabzuziehen strebt, ins Gleichgewicht kommt mit der abstoßenden Kraft der Elektricität, die ihn daraus zu entfernen strebt. Es fragt sich nun, welches Verhältniß findet zwischen der elektrischen Intensität der Kugeln und dem Abstoßungswinkel Statt.

Bary hat für diesen Fall durch Rechnung folgendes Gesetz ermittelt, was jedoch, wohl zu merken, nur für folgende Voraussetzungen gilt:

1) Daß das Gewicht des beweglichen Drahtes vernachlässigt und bloß das der beweglichen Kugel in Betracht gezogen werde.

2) Daß bloß die Elektricität der Kugeln selbst in Betracht gezogen, die der Drähte, mit denen sie in Verbindung stehen, aber vernachlässigt werde.

3) Daß die gesammte Elektricität stets im Mittelpuncte der Kugeln vereinigt gedacht werde, ohne auf die Änderung ihrer Vertheilung bei Verschiedenheit ihres Abstandes Rücksicht zu nehmen.

4) Daß kein von der Reibung oder sonstigen Hindernissen abhängiger Widerstand in Betracht gezogen werde.

*) Ann. de Ch. et de Phys. XXXIX. 37. oder Pogg. XIV. 380.

Mit je größerer Annäherung diese Voraussetzungen erfüllt sind *), um so strenger wird sich das nachfolgende Gesetz bestätigt finden:

Die Intensität der Elektricität, welche den Kugeln mitgetheilt worden ist, ist proportional dem Cubus des Sinus vom halben Ablenkungswinkel, oder für sehr kleine Winkel proportional dem Cubus des Winkels selbst **).

Denken wir uns jetzt statt des vorigen Elektroskops ein solches, wo zwei parallel neben einander herabhängende gleiche Kugeln in der Verticalebene von einander weichen können, so gilt, übrigens unter den vorigen Voraussetzungen, folgendes Gesetz:

Die Intensität der Elektricität auf den Kugeln ist proportional dem Quadrat des Sinus vom halben Divergenzwinkel, multiplicirt mit dessen Tangente, oder für kleine Winkel proportional dem Cubus dieses Winkels ***).

*) Ich glaube nicht, daß man in der Erfahrung diesen Bedingungen wird nahe genug kommen können, um von der gegebenen Formel großen Gebrauch machen zu dürfen. F.

**) Dies Gesetz ist in folgender Formel enthalten:

$$F = 8pl^2 \sin^3 \tfrac{1}{2} \vartheta$$

worin F die gesuchte Intensität, p das Gewicht der beweglichen Hollundermarkkugel, l die Länge des Drahtes, woran es hängt, $\vartheta$ den Winkel, welchen der bewegliche Draht mit der Verticallinie macht, sobald die Repulsivkraft mit der Schwere ins Gleichgewicht gekommen ist, bedeutet. Nachstehendes ist die einfache Herleitung dieser Formel:

Die wirkliche Entfernung der Kugeln von einander oder die Sehne des vom Hollundermarkkügelchen durchlaufenen Bogens ist $= 2l \sin \frac{1}{2} \vartheta$, und da die Abstoßung sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung verhält, so wird diese Kraft:

$$\frac{F}{4l^2 \sin^2 \frac{1}{2} \vartheta}$$

Damit dies Kügelchen im Gleichgewicht bleibe, muß $p \sin \vartheta$, die Seitenkraft seines Gewichts nach Richtung der Tangente des beschriebenen Bogens, gleich sein:

$$\frac{F}{4l^2 \sin^2 \frac{1}{2} \vartheta} \cos \tfrac{1}{2} \vartheta$$

der Seitenkraft der in entgegengesetzter Richtung nach derselben Tangente zerlegten Repulsivkraft, d. h. es muß sein

$$\frac{F \cos \frac{1}{2} \vartheta}{4l^2 \sin^2 \frac{1}{2} \vartheta} = p \sin \vartheta = 2p \sin \tfrac{1}{2} \vartheta \cos \tfrac{1}{2} \vartheta$$

woraus sich dann ergiebt:

$$F = 8pl^2 \sin^3 \tfrac{1}{2} \vartheta$$

***) Die Formel ist, wenn $\vartheta$ die Hälfte des Winkels bedeutet, um welchen beide Kugeln divergiren und sonst die Buchstaben die Bedeutungen wie vorhin haben:

$$F = 4pl^2 \sin^2 \vartheta \operatorname{tang} \vartheta$$

Bemerkung verdient, daß (wie im Original besonders erwiesen wird), wenn man

## Elektrische Entladungen.

**Fortführung metallischer Theilchen durch die Entladungsschläge, von Pianciani*).** Fusinieri hatte die Beobachtung gemacht**), daß, wenn ein elektrischer Funke von einem metallischen Leiter zum andern überspringt, dabei metallische Theilchen losgerissen und von einem Leiter zum andern mit übergeführt werden, die man dann am entgegengesetzten Metall anhaften findet. Pianciani nun will beobachtet haben, daß dieses Überführen nicht bloß durch eine Luftschicht, sondern selbst durch eine Metallschicht hindurch Statt findet. So, wenn der Entladungsschlag von einer Silberkugel ausgeht, reißt er, beim Hindurchgehen durch eine Kupferscheibe, Silbertheilchen mit hindurch, und geht er von einer goldenen Kugel aus, so vermag er Theilchen derselben durch eine silberne Kugel fortzuführen. Diese Fortführung durch ein anderes Metall geschieht nach Pianciani immer in der Richtung des positiven, niemals des negativen Stroms ***).

**Über das elektrische Leuchten der Blumen, von Alexander Zawadzki ****).**

Nach dem Verfasser ergeben sich aus fremden und eigenen (nicht besonders specificirten) Beobachtungen über diesen Gegenstand, die er mehrere Sommer nach einander machte, folgende Resultate:

1) Den stärksten Lichtblitz giebt die in allen Gärten vorkommende Ringelblume (Calendula off.); nach ihr die Capuziner- oder indianische Kresse (Tropaeolum majus und minus), dann die Feuerlilie (Lilium

den Cubus des Bogens statt des Products aus dem Quadrat seines Sinus in seine Tangente nimmt, daraus bloß ein Fehler entsteht, der kleiner ist als die 5te Potenz dieses Bogens.

Die Herleitung der Formel ist übrigens folgende: die Hollundermarkkügelchen, indem sie sich vermöge ihrer gleichnamigen Elektricität von einander entfernen, machen wegen ihres gleichen Gewichts p einen gleichen Winkel $\vartheta$ mit der Verticale. Ihr Abstand wird alsdann $2 l \sin \vartheta$ und ihre Repulsivkraft

$$\frac{F}{4 l^2 \sin^2 \vartheta}$$

Damit sie dem Gewichte einer der beiden Kugeln das Gleichgewicht halte, müssen wir haben

$$\frac{F \cos \vartheta}{4 l^2 \sin^2 \vartheta} = p \sin \vartheta$$

woraus $F = 4 p l^2 \frac{\sin^3 \vartheta}{\cos \vartheta} = 4 p l^2 \sin^2 \vartheta \operatorname{tang} \vartheta$

*) Giorn. Arcadico. T. XXXVII. p. 1. oder Bullet. univers. des sc. math. XII. p. 246.

**) Giorn. di Fis. nov. 1825. p. 450.

***) Da mir das Giorn. Arcad. nicht zur Hand ist, so muß ich mich mit dieser kurzen Notiz, welche im Bull. univ. enthalten ist, begnügen.

****) Baumg. VI. 459.

bulbiferum) und die Sammetrose (Tagetes patula und erecta). Alle diese Blumen haben eine starke mit Roth gesättigte gelbe Farbe, und da der Verfasser bei einigen Helianthus-Arten, die intensiv gelbe Blumen hatten, so wie an der Gorteria ringens auch ein schwaches Leuchten bemerkte, so scheint daraus hervorzugehen, daß jede orangefarbige Blume zu bestimmten Zeiten leuchte.

2) Diese Blumenblitze zeigen sich im Juli und August während der Befruchtung der Blumen, kurz nach Untergang der Sonne, nach warmen heitern Tagen, nie aber, wenn die Luft feucht ist.

3) Eine und dieselbe Blume blitzt oft mehrmal hinter einander; oft aber verstreichen mehrere Minuten, bis sich ein neuer Blitz zeigt.

---

# Vierter Abschnitt.

## Lehre vom Galvanismus und der Elektrochemie.

---

### I. Über die Theorie des Galvanismus im Allgemeinen.

#### Streit der chemischen und Berührungs-Theorie des Galvanismus.

Die Ansicht, daß die Erregung der galvanischen Elektricität nicht in der Berührung der ungleichartigen Metalle unter einander, sondern in chemischer Einwirkung von Luft oder Flüssigkeiten auf die Metalle ihren Ursprung habe, ist neuerdings wieder mehrfach vertheidigt worden, und namentlich hat sie an de la Rive *) und Parrot **) eifrige Verfechter gefunden, die nicht allein die Erregung der strömenden Elektricität in der durch eine Flüssigkeit geschlossenen Kette der chemischen Einwirkung der Flüssigkeit auf die Erregerplatten beimessen, sondern selbst diejenige Elektricität, welche der Condensator zu erkennen giebt, wenn man die bekannten Volta'schen Fundamentalversuche zur Nachweisung der in Spannung befindlichen Berührungselektricität anstellt, von der oxydirenden Einwirkung von Luft oder Feuchtigkeit auf die Metalle ableiten. Rive hat in letzterm Bezuge mehrere Versuche angeführt, die für den ersten Anschein seiner Annahme sehr günstig zu sein scheinen, allein, wie Pfaff ***) durch Wiederholung und Erörterung dieser Versuche dargethan, sind die von ihm bekannt gemachten Thatsachen theils nicht richtig, theils nicht richtig gedeutet. Ich werde hier die Versuche zusammenstellen, die theils zur Widerlegung von Rive's Ansichten und Beobachtungen dienen, theils direct zum Beweise einer wirklichen Elektricitätserregung durch Contact führen können ****).

*) Vgl. besonders in diesem Bezuge Ann. de Ch. et de Phys. XXXIX. 297.

**) Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 361.

***) Ann. de Ch. et de Ph. XLI. 236.

****) Ich werde hiebei nur geringe Rücksicht auf eine weitläuftige Arbeit Marianini's (in den Ann. de Ch. et de Ph. XLV. 28. 113.), die gegen de la Rive gerichtet ist, nehmen, da die Gründe, welche sie gegen die Ansichten dieses Physikers enthält, meist von derselben Gattung, aber weniger schlagend sind, als die im Verfolge mitzutheilenden.

A. In Bezug auf die Spannungselektricität.

1) De la Rive äußert sich folgendermaßen: „Wenn man die Platte eines messingenen Condensators mit einer recht blanken Zinkplatte berührt, findet man sie nach der Berührung mit negativer Elektricität geladen; dies ist der bekannte Versuch von Volta. Allein es sind, unabhängig von der Berührung, zwei Umstände vorhanden, welche eine aufmerksamere Untersuchung verdienen, deren eine die chemische Wirkung ist, welche auf das Zink die Feuchtigkeit der Hand äußert, mit welcher man das Metall hält; die andere die chemische Wirkung des Sauerstoffs und der Wasserdämpfe der atmosphärischen Luft auf die ganze oxydirbare Oberfläche. Es ist leicht, sich vom Einflusse, welchen der erste dieser beiden Umstände äußert, zu überzeugen, indem man die Metallplatte mit einer hölzernen Zange faßt. In diesem Falle ist die Quantität Elektricität unter übrigens gleichen Umständen viel geringer, als wenn man die Finger, mit welchen man das Zink faßt, schwach mit Salz- oder saurer Auflösung netzt. Man darf, damit der Versuch gelinge, die Finger nicht zu sehr befeuchten, damit die schwache Oxydschicht, welche sich bildet, nicht feucht sei: denn da dann die beiden elektrischen Flüssigkeiten, welche die chemische Wirkung entwickelt, bloß durch einen ziemlich guten Leiter geschieden wären, so würden sie sich vereinigen und sich neutralisiren, während die Oxydschicht, wenn sie trocken ist, als isolirende Fläche dient, so daß die negative Elektricität sich auf den Condensator verbreitet, während die positive durch die Hand, die ihr als Leiter dient, abfließt".

Hiegegen erinnert Pfaff *), es könne auch nach der antichemischen Theorie nicht auffallen, daß, wenn man das Zink mit einer hölzernen Zange faßt, schwächere Zeichen von Elektricität erhalten werden, als bei Anfassen mit feuchten Händen; denn da das Holz in seinem gewöhnlichen Zustande ein sehr schlechter Leiter ist, zumal für Elektricitäten von so schwacher Spannung, so könne die negative Elektricität, die sich in der untern Condensatorplatte ansammeln solle, fast in demselben Maße sich mittelst langsamen Abflusses durch die isolirende Zwischenschicht der Condensatorplatten, und die leitende Verbindung der obern Condensatorplatte mit dem Boden oder auf anderm Wege verlieren, als die positive durch das Holz in den Boden abfließe, so daß sich das Resultat dem nähern wird, was man erhält, wenn statt der hölzernen eine wirklich nicht leitende Zange angewandt würde. Übrigens fand es Pfaff, — und Ohm, so wie ich selbst, stimmen ihm hierin nach unseren Erfahrungen bei —, gleichgültig für die Wirkung, ob die Hände etwas mehr oder weniger feucht, ob sie mit gewöhnlichem Wasser oder mit einer Kochsalzauflösung genetzt waren.

*) Vergl. auch Ohm's Kritik der Versuche von Rive in Schweigg. LXIII. 180.

Man kann ferner den Volta'schen Versuch so anstellen, daß die Feuchtigkeit der Hände gar nicht ins Spiel kommt. Zu diesem Zwecke wende man einen mit dem Elektrometer verbundenen Condensator an, dessen eine Platte von Zink, die andere von Kupfer ist und verbinde beide über einander liegende und, wie gewöhnlich, durch eine Firnißschicht getrennte, Condensatorplatten auf einen Augenblick durch einen metallenen Bogen, den man an einem isolirenden Handgriffe faßt. Hebt man, nach Entfernung dieses Bogens, die obere Condensatorplatte ab, so wird das Elektrometer seine elektrische Anzeige geben, wie im vorigen Falle.

Hier bliebe mithin nur noch der Einfluß der Luft und der darin enthaltenen Feuchtigkeit übrig, welcher eine chemische Wirkung hervorbringen könnte. Allein abgesehen von mehreren Umständen, welche nach Pfaff's sehr richtigen Erörterungen auf indirecte Weise gegen eine Abhängigkeit der elektroskopischen Erscheinungen bei diesen Versuchen von einer solchen chemischen Wirkung sprechen, so wird dieselbe auch direct durch folgende Erfahrungen Becquerel's und Pfaff's widerlegt.

2) Becquerel*) richtete einen Condensator vor, dessen untere Platte aus sehr sorgsam und überall vergoldetem Metall bestand, während die obere aus Zink verfertigt war. Das Zink war allenthalben mit mehreren Schichten Gummilack überzogen, ausgenommen an zwei Stellen, in deren einer ein Platinstäbchen befestigt war, während die andere mit einer Glasscheibe bedeckt wurde, so daß definitiv nirgends eine Stelle des oxydirbaren Zinkes mit Luft in Berührung kam. Der Apparat wurde dann in ein Glasgehäuse gebracht, welches durch Ätzkalk möglichst ausgetrocknet worden war. Berührte man nun innerhalb dieses Gehäuses mit dem Finger, der zuvor mit destillirtem Wasser gewaschen worden, das Platinstäbchen, und hob darauf die obere Condensatorplatte ab, so zeigte die untere constant eine negative Ladung, ungeachtet hier nirgends eine chemische Einwirkung von Luft oder Feuchtigkeit Statt gefunden haben konnte.

Noch beweisender dürften folgende Versuche Pfaff's sein, zufolge deren die Volta'schen Grundversuche eben so gut gelingen, wenn man sie in trockenen nicht oxydirenden Gasarten, als wenn man sie in gewöhnlicher Luft anstellt.

Pfaff nahm eine Glocke, die mit zwei ledernen Hülsen (boites) versehen war und setzte unter dieselbe ein condensirendes Goldblattelektrometer, dessen eine Condensatorplatte von Zink, die andere von Kupfer war. Ein messingener Stiel, welcher durch eine der ledernen Hülsen hindurchging, war so an der obern Condensatorplatte befestigt, daß man durch Erhebung oder Senkung des Stiels die obere Condensatorplatte von der untern entfernen oder darauf niederlassen konnte. Durch die andere lederne Hülse gingen zwei Messingdrähte, die so angeordnet und an ihrem untern Ende gebogen waren, daß bei einer gewissen Lage der eine die obere und

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 291.

der andere die untere Platte berührte, und da beide Metalldrähte an ihrem obern Ende außerhalb der Glocke mit einem andern Metalldrahte verbunden waren, so leisteten sie denselben Dienst, als wenn man eine Communication zwischen beiden Platten durch einen einfachen Metalldraht bewirkte. Durch Drehen der beiden Metalldrähte an ihrem auswendigen Ende ließen sich ihre inneren Enden von den Platten des Condensators wieder trennen, so daß der Volta'sche Versuch bequem angestellt werden konnte. Oben an der Glocke war ein Hahn angeschraubt, durch den sie sich, nachdem sie luftleer gepumpt worden, mit beliebigen trockenen oder feuchten Gasen anfüllen ließ.

Mochte nun das Elektrometer nebst Condensator mit feuchter oder trockener atmosphärischer Luft, mit Sauerstoffgas, Stickstoffgas, kohlensaurem Gas, Wasserstoffgas oder gekohltem Wasserstoffgase umgeben sein, so blieben sich doch die Resultate gleich.

De la Rive hat allerdings entgegengesetzte Resultate in diesem Bezuge bekannt gemacht, nach ihm soll, wenn das Gas ganz trockenes Stickgas oder Wasserstoffgas ist, kein Zeichen der Elektricität unter ähnlichen Umständen erhalten werden, sofort aber, wenn das Gas atmosphärische Luft, Sauerstoffgas und namentlich wenn es Chlor ist. Übrigens wurde der Versuch doch hierbei auf etwas andere Art angestellt, nämlich so, daß die messingene Condensatorplatte innerhalb des abgesperrten Raums mit einem Messingdrahte (tige) berührt wurde, der mit einer Zinkplatte in Verbindung stand, die ihrerseits von einer hölzernen Zange gehalten wurde, welche sich außerhalb des abgesperrten Raumes verlängerte und von der Hand angefaßt ward. Auch hier jedoch möchte vielleicht das schlechte Leitungsvermögen des Holzes wegen des Nichterfolges der Versuche anzuklagen sein.

Was übrigens einen Versuch mit Kali- oder Natrum-Metall, das unter Steinöl mit einer Platinzange gefaßt, kein elektrisches Zeichen nach Rive gab (Ann. de Ch. et de Ph. XXXIX. 312.), betrifft, so glaubt Ohm (Schweigg. LXIII. 184), daß, da ölartige Überzüge von der geringsten Dicke schon die Fortleitung der galvanischen Elektricität hemmen, die Zwischeneinlegung einer solchen zwischen Platin und Kalimetall den Erfolg verhindert haben könne, anderer Mißstände bei diesem Versuche nicht zu gedenken.

Ich muß übrigens denn doch bemerken, daß die Versuche Pfaff's de la Rive noch nicht vermocht haben, seine Überzeugung zu ändern, denn er äußert neuerdings*) Folgendes:

„Ich habe von Neuem gefunden, daß der Contact allein, von jeder andern thätigen Ursache isolirt, für sich nicht im Stande ist, Elektricität hervorzurufen, weder unter der Form von Strömen, noch unter der

*) Schweigg. LIX. 193.

Form von Spannung. Von den Verfahrungsweisen, die ich bereits beschrieben, unabhängig, habe ich nun andere in Anwendung gesetzt, als Condensatoren von verschiedener Natur, in verschiedenen Medien aufgestellte Condensatoren u. s. w.; und wenn ich durch dieses letztere Verfahren zu Resultaten gelangte, welche verschieden sind von denen des Hrn. Pfaff, so rührt dies daher, daß die kleinste Menge in der Luft oder in einem andern Gase zurückgebliebener Feuchtigkeit ausreicht, eine chemische Thätigkeit auf der Zinkfläche des Condensators einzuleiten, und in Folge dessen eine elektrische Wirkung hervorzubringen, deren Natur jederzeit, was auch H. Pfaff dagegen sage, im Einklange steht mit dem, was der chemischen Theorie zufolge geschehen müßte. Ich habe mich aber nicht bloß auf negative Erfahrungen beschränkt, obwohl ihre Zahl und ihre Zusammenstimmung mir das größeste Vertrauen einflößen; sondern ich war auch bemüht, solche Versuche ausfindig zu machen, welche positive Resultate lieferten. So ist es mir nun gelungen, Zeichen von Elektricität unter Umständen zu erhalten, wo ich, der Contacttheorie zufolge, auch nicht die leiseste Spur hätte erhalten sollen. Nur ein solches Beispiel will ich anführen:

An jedes Ende eines Holzcylinders von 10 bis 12 Centimeter Länge und 1 oder 2 Centimeter im Durchmesser befestigte ich eine Zinkplatte, die sich nach außen in einen angelötheten Messingknopf endigte; indem ich nun den Messingknopf der einen Platte in die Hand nahm, berührte ich den (gleichfalls messingenen) Condensator mit dem Knopfe der anderen. Der Contacttheorie gemäß durfte ich kein Zeichen elektrischer Thätigkeit hierbei erhalten, indem die beiden Zink-Messing-Platten einander gegenüber lagen und durch ein isolirtes Holzstück vereinigt waren, welches die Dienste eines Leiters zwischen beiden Platten versah. Weil indessen das eine Ende des Holzcylinders etwas feuchter war als das andere, so erhielt ich Zeichen von Elektricität, deren Natur jederzeit im Verhältnisse stand mit der schwachen chemischen Wirkung, welche durch die Berührung des sorgfältig blank geschabten Zinkes mit dem feuchten Holze erregt wurde. Diese Zeichen von Elektricität waren positiv, wenn ich den Messingknopf derjenigen Zinkplatte zwischen den Fingern hielt, deren anderes Ende in dem minder feuchten Theile des Holzes befestigt war. Zum Gelingen dieses Versuchs ist nöthig, daß das Holz etwas feucht sei; die Feuchtigkeit, welche es aus der Luft anzieht, ist vollkommen hinreichend; auch muß man Sorge tragen, daß das eine Ende des Holzes trockner erhalten werde, als das andere. Es scheint mir unmöglich, was ich in meiner Denkschrift nachzuweisen suche, diese mit Sorgfalt und im Detail untersuchte Thatsache mit der Contacttheorie zu vereinbaren".

Mir meinerseits scheint es, daß wenn de la Rive's früherer Versuch eine Kritik durch Wiederholung erfoderte, es bei diesem nicht minder der Fall sei. Selbst im Fall er richtig wäre, würde er nicht die Theorie der Contactelektricität widerlegen, welche gar nicht die Möglichkeit ausschließt, daß durch Wirkung einer Flüssigkeit auf ein Metall Elektricität

entstehen kann, und wäre es auch nur deshalb, weil sie die Oberfläche des Metalls selbst ändert und dadurch statt eines homogenen Metalls zwei heterogene Substanzen bildet*).

Was die Einwürfe betrifft, die Parrot gegen die Contacttheorie der elektroskopischen Erscheinungen galvanischer Elemente vorbringt, so übergehe ich sie; sie sind von der Art, daß sie sich durchaus auf Beobachtungen mit unvollkommenen Instrumenten oder auf eine Particularität seiner Versuchsweise gründen müssen, denn er behauptet, keine elektrischen Erscheinungen unter Umständen wahrgenommen zu haben, wo sie bei einigermaßen empfindlichen Instrumenten stets und zwar mit constanter Art des Erfolgs eintreten; wie ich dies nicht nur nach eigenen Erfahrungen versichern kann, bei denen ich keine der bei solchen Versuchen zu nehmenden Vorsichten glaube vernachlässigt zu haben, sondern wie auch zur Genüge aus den Beobachtungen Anderer hervorgeht.

3) Vielleicht nicht minder beweisend, als die Versuche Becquerel's und Pfaff's in der in Rede stehenden Beziehung, schienen mir meine eigenen, in anderm Bezuge weiterhin anzuführenden, zu sein, zufolge deren unter gewissen Umständen eine und dieselbe Platte positive oder negative Elektricität annehmen kann, je nachdem sie den Pol einer Säule in einer größern oder kleinern Fläche berührt. Diese Erscheinung ist eine directe Folgerung der Contacttheorie, scheint mir aber, — und Berzelius hat zuerst hierauf in seinem Jahresberichte (X. S. 22) aufmerksam gemacht — mit der chemischen Theorie unvereinbar.

### B. In Bezug auf die strömende Elektricität.

Man hat es von jeher als einen Beweis für die chemische Theorie der geschlossenen Kette angeführt, daß die Wirkung der Kette in dem Maße zunehme, als die Erregerplatten stärker und in größerer Oberfläche von der schließenden Flüssigkeit angegriffen werden. Nun aber hängt die Wirkung der Kette nicht allein von der Stärke der Elektricität ab, die in ihr erzeugt wird, sondern auch von dem größern oder geringern Widerstande, den die Elektricität auf ihrem Wege durch die Kette zu durchlaufen findet. Hätten daher jene Erfahrungen etwas für die chemische Theorie beweisen sollen, so hätte nicht allein dargethan werden müssen, daß vergrößerte erregende Oberfläche und stärkeres Angreifen derselben die Wirkung der Kette vermehrt, sondern auch, daß diese Wirkungsvermehrung nicht von einer Veränderung des Leitungszustandes der Kette herrühre. Dies nun ist bisher nicht geschehen, dagegen ich von meiner Seite wirklich glaube darthun zu können, daß diese Wirkungsverstärkung in der That nicht von einer Verstärkung der elektromotorischen Kraft, sondern wirklich von einer Veränderung des Leitungswiderstandes erzeugt wird. Ver-

*) Vergl. auch Ohm's Bemerkungen über diesen Versuch in Schweigg. LXIII. 13.

änderungen, welche die Flüssigkeit an den Oberflächen der metallischen Erreger selbst hervorbringt, können übrigens auch Einfluß auf die elektromotorische Kraft haben und bei Vergleichung der Wirkung der verschiedenen Flüssigkeiten Beachtung verdienen.

1) *) Man disponire in einem Trogapparate eine paare Anzahl Zink-Kupferplatten-Paare, für deren Homogeneität man alle Sorge tragen muß, zu einer (nach dem Schema der Säule zusammengesetzten) Kette so, daß die eine Hälfte der Elemente einen entgegengesetzten Strom, als die andere hervorzubringen strebt. Die Leitungsflüssigkeit sei überall Wasser.

Welche Ansicht man auch von der wesentlichen Natur der Kette hegen mag, sobald in allen Fällen erregende Oberfläche und Beschaffenheit der Flüssigkeit sich gleich sind, wird die Wirkung dieser Kette merklich null sein müssen; weil ihre gleichen und entgegengesetzten Ströme sich wechselseitig compensiren; und dies findet sich in der That durch den Multiplicator, welcher die Kette schließt, bestätigt.

Allein dieselbe Compensation der Wirkung findet auch ganz genau dann noch Statt, wenn man die erregende Oberfläche der Elemente in den Zellen einer Seite beliebig größer als bei den entgegengesetzt disponirten einrichtet, indem man jene Zellen sechs-, acht-Mal oder noch höher mit Wasser anfüllt, als diese. Ja, was noch mehr ist, diese Compensation besteht selbst dann, wenigstens für einen Augenblick, wenn man in die Zellen, worin die größeren erregenden Oberflächen enthalten sind, eine beliebige Quantität Salzsäure hinzufügt.

In letzterm Falle besteht das Gleichgewicht allerdings nur im ersten Augenblick; denn allmälig sieht man einen Ausschlag des Multiplicators sich entwickeln; allein, was bemerkenswerth ist, dieser zeigt gerade ein wachsendes Übergewicht derjenigen Paare an, welche in den Zellen mit unverändert schwach gebliebener Flüssigkeit vorhanden sind, und die kleinere erregende Oberfläche besitzen. Dieses Übergewicht der Platten in den Zellen ohne Säurezusatz rührt unstreitig daher, daß die Salzsäure die Platten der andern Zellen allmälig angreift und durch die Veränderung ihrer Oberfläche ihren elektromotorischen Gegensatz vermindert, während nach der chemischen Theorie das verstärkte Angreifen selbst gerade ein Übergewicht der Zellen mit Salzsäure bewirken müßte. Nach der Contacttheorie wirkt die Salzsäure verstärkend bloß durch Verminderung des Leitungswiderstandes; und diese Verminderung kommt der Elektricität der Plattenpaare in den Zellen ohne Säure eben so gut auf ihrem Kreislaufe durch die ganze Kette zu Statten, als der Elektricität der Plattenpaare, die sich unmittelbar in der sauern Flüssigkeit befinden.

Sollte übrigens der vorige Versuch wegen mangelnder Homogeneität der Plattenpaare, von der begreiflich seine Präcision abhängt, nicht so entschieden gelingen, als hier angegeben worden, so wird man sich zu demselben

*) Dieser Versuch ist in Schweigg. LVII. 9 enthalten.

Resultate durch folgende Abänderung desselben geführt sehen, die keine Zweideutigkeit zuläßt.

Man ordne, wie vorhin, eine gewisse Anzahl Zink-Kupferplattenpaare einer eben so großen Anzahl Zink-Zinnplattenpaare entgegen, in derselben Kette, an. Man fülle die Zellen beiderseitig bis zu derselben kleinen Höhe mit Brunnenwasser: die Zink-Kupferplattenpaare werden vermöge ihres elektromotorischen Übergewichts den Ausschlag des Multiplicators bestimmen. Man lasse die Flüssigkeit bei den Zink-Kupferpaaren unverändert, aber fülle nun die Zellen bei den Zink-Zinnpaaren, welche für sich den entgegengesetzten Ausschlag bewirken würden, immer höher, und der vorhandene Ausschlag des Multiplicators wird, anstatt abzunehmen, immer mehr, *und zwar nach derselben Richtung*, zunehmen, und diese Zunahme wird noch höher steigen, wenn man Säure in die Zink-Zinnzellen zugießt. Läßt man jetzt die Zink-Kupferpaare aus der Kette, so wird sich die Nadel auf das Lebhafteste umkehren.

2) Noch directer als auf die vorige Weise glaube ich die chemische Theorie durch messende Versuche widerlegt zu haben, in denen ich die Veränderungen der elektromotorischen Kraft und des Leitungswiderstandes, welche bei Änderung der erregenden Oberfläche und der Schließungsflüssigkeit eintreten können, besonders untersucht habe. Hier nun hat sich mir ergeben, *daß die elektromotorische Kraft in der That in keiner wesentlichen Abhängigkeit von der Stärke oder Beschaffenheit der Leitungsflüssigkeit* oder Größe der erregenden Oberfläche steht, so daß die Änderung der Kraft, welche Ketten, aus denselben Platten geschlossen, mit verschiedenen Flüssigkeiten zeigen, in der That meist nur auf Rechnung des dadurch veränderten Leitungswiderstandes zu schreiben ist. Allerdings zeigen mehrere Flüssigkeiten Ausnahmen in diesem Bezuge, deren Ursache nicht erklärt ist, allein diese Ausnahmen sind wenigstens nicht von der Art, daß sie der chemischen Theorie zur besondern Stütze dienen könnten. Es mag genügen, einige Beispiele in dem angegebenen Bezuge aus meinen Maßbestimmungen über die galvanische Kette auszuheben:

Ich fand bei einem Plattenpaare aus Zink-Zinn die elektromotorische Kraft merklich gleich für Leitungsflüssigkeiten, deren Gehalt an Salzsäure durch verschiedene Zwischengrade von $\frac{1}{83}$ bis $\frac{1}{5412}$ Volumen variirte, wodurch die Kraft der Kette von 38,5 auf 5,44 abgeändert wurde. Diese ganze Abänderung kam auf Rechnung der Änderung des Leitungswiderstandes. (Maßbestimmungen S. 46 bis 52.)

So zeigte sich ferner die elektromotorische Kraft merklich gleich bei Zink-Kupfer für verschiedene Concentrationsgrade von schwefelsaurem Wasser, salpetersaurem Wasser, mäßig salzsaurem Wasser, Kupfervitriolauflösung, ungeachtet die ganze Wirkung der Kette sehr verschieden für diese verschiedenen Flüssigkeiten war. (Maßbestimmungen S. 55 bis 57.)

Für Brunnenwasser zeigte sich allerdings eine ungefähr im Verhältniß

von 8 : 9 geringere elektromotorische Kraft, als bei den vorigen Flüssigkeiten; allein merklich dieselbe geringere Kraft als bei Brunnenwasser ward auch bei sehr stark salzsaurem Wasser und bei Kochsalzauflösung wiedergefunden, wo sie doch unstreitig nach der chemischen Theorie hätte stärker sein müssen, als bei Brunnenwasser.

Eben so habe ich, wofür viele Versuche in meinen Maßbestimmungen als Belege dienen können, die elektromotorische Kraft ohne wesentliche Abhängigkeit von der Größe der erregenden Oberfläche gefunden; so stieg bei einem Versuche (Maßbestimmung S. 81) beim übergange von der einfachen zur dreifachen erregenden Oberfläche die Wirkung der Kette von 8,79 bis 21,0, während doch die elektromotorische Kraft sich ungeändert zeigte, wie durch Berechnung gefunden werden konnte. So wurden bei anderen Versuchen aus einer Kette, die aus 5, zu einer einzigen erregenden Oberfläche vereinigten, Kupfer-Zinkpaaren bestand, einmal alle Zinkplatten bis auf eine, ein andermal alle Kupferplatten bis auf eine aus der Kette gelassen (während die 5 anderen Platten darin blieben), ohne daß die elektromotorische Kraft sich geändert hätte, während doch in der ganzen Wirkung der Kette hierbei, besonders im letzten Falle, ein sehr starker Abfall erfolgte. (Maßbestimmungen S. 98 99 u. f. f.)

3) Matteucci *) theilt folgenden Versuch mit. Er versuchte zuvörderst, ob destillirtes und ganz von Luft befreites Wasser mit Zink allein oder Zink und Kupfer, die sich berührten, zugleich in Berührung gebracht, eine chemische Wirkung äußerten, und schloß daraus, daß selbst nach mehrstündiger Berührung die empfindlichsten Reagentien keine Gegenwart von oxydirtem Zink oder Kupfer (in dem Wasser?) darzuthun vermochten, daß eine solche Wirkung hier nicht Statt finde **).

Er hing darauf ein Froschpräparat, welches mit destillirtem und luftfreien Wasser gewaschen worden, mit den Nerven an einen Haken von Zink auf, der in einer gläsernen Glocke angebracht und mit einem längern kupfernen Draht zusammengelöthet war. Die Glocke wurde dann erst mit destillirtem Wasser, darauf mit reinem Wasserstoffgas gefüllt und nun die Berührung der Muskeln des Froschpräparates mit dem kupfernen Draht bewirkt. Die Zusammenziehungen erfolgten eben so, als wenn in reiner Luft operirt worden wäre. Dasselbe war der Fall, wenn statt in Wasserstoffgas im leeren Raume, in Kohlenstoffoxyd, in Kohlensäure, in Sauerstoff, mochten diese Gasarten feucht oder getrocknet sein, operirt wurde.

4) Von nicht geringem Gewichte in Bezug auf den betreffenden Umstand ist auch die Erfahrung, die Ohm ***) in Bezug auf das eigenthümliche Verhalten der concentrirten Schwefelsäure im Kreise der galvanischen

*) Ann. de Ch. et de Phys. XLV. 166.

**) In der That nehmen auch die Chemiker an, daß in luftfreiem Wasser weder Zink noch Kupfer sich oxydiren.

***) Schweigg. J. LIX. Heft 4.

Kette aus Zink und Kupfer gemacht hat. Bekanntlich hat man es immer unter den Hauptbeweisen für die chemische Theorie angeführt, daß eine Kette aus Zink und Kupfer in concentrirter Schwefelsäure zugleich keine chemische und keine Strömungs-Wirkung zeigt, während in verdünnter Schwefelsäure beide auf das Lebhafteste erfolgen.

Nun aber hat Ohm nachgewiesen (vergl. unipolare Leiter), daß diese Unwirksamkeit der concentrirten Schwefelsäure bloß darauf beruht, daß dieselbe unter dem Einfluß der Schließung sehr schnell einen in concentrirter Schwefelsäure unauflöslichen Überzug auf dem Zink hervorbringt, der vermöge seiner schlecht oder nicht leitenden Eigenschaft die Strömung unterbricht; daher in der That im ersten Augenblicke eine Strömung eintritt, die aber sehr schnell vermöge dieser Bildung unterbrochen wird. In verdünnter Schwefelsäure bildet sich kein solcher Überzug, weil er darin auflöslich ist. Es ist sehr wahrscheinlich, daß bei Brom etwas Ähnliches Statt finde.

5) Daß auf solchen Veränderungen, welche oft sehr schnell erfolgen, der von Rive zu Gunsten seiner Ansicht ausgelegte Umstand beruht, daß die elektrische Reihenfolge der Metalle sich nach Beschaffenheit der Flüssigkeit, mit der sie geschlossen werden, zu ändern scheint, habe ich schon durch frühere Versuche erwiesen*).

6) Folgenden Versuch hat schon vorlängst Berzelius als gegen die chemische Theorie sprechend angeführt.

Eine gewisse Anzahl Becher ist zur Hälfte mit einer concentrirten Auflösung von salzsaurem Kalk, zur Hälfte mit verdünnter Salpetersäure gefüllt, wovon die letztere sich wegen ihrer geringen Dichtigkeit nicht mit der Salzlösung mischt, sondern auf derselben stehen bleibt. Kupferbögen, die sich an einem ihrer Enden in ein Stückchen Zink endigen, dienen zur Vereinigung der Becher, und sind so gestellt, daß das Zinkende ganz in die Lösung des salzsauren Kalkes taucht und das Kupferende in die obenschwimmende Salpetersäure des nächsten Bechers. Dieser Becherapparat entwickelt einen Strom, in welchem das Zinkende, obgleich es kaum angegriffen wird, und besonders viel weniger als das Kupferende, dennoch positiv gegen dieses ist.

Die Beweiskraft dieses Einwurfs bestreitet de la Rive **) dadurch, daß er annimmt, der größere Theil des Stroms werde hier durch die gegenseitige Einwirkung der in Berührung befindlichen Flüssigkeiten rege, welche einen von der Salzlösung nach der Säure gerichteten Strom veranlaße, der dann vom Zink durch die beiden Flüssigkeiten zum Kupfer zu gehen scheint. In der That, wenn man statt der heterogenen Bögen homogene von Platin, Kupfer oder Zink nimmt und sie auf dieselbe Weise anordnet, so erhält man nach ihm einen Strom von gleicher Rich-

*) Biot III. 93.

**) Pogg. XV. 106.

tung, der beim Platin und beim Kupfer schwächer, beim Zink aber stärker ist, und zwar nach de la Rive aus dem Grunde, weil das Zink der Elektricität einen leichtern Durchgang gestatte.

Ohm hat indeß durch Abänderung derselben Versuche (Schweigg. LXIII. 176) die Beweiskraft von Berzelius Versuch in ihrer vollen Stärke wiederhergestellt.

In den einen Schenkel einer Uförmig gebogenen Röhre, deren ganze Biegung mit festgestopftem Asbest ausgefüllt worden war*), goß er so weit verdünnte Salpetersäure, daß, während das Kupfer sich in ihr auflöste, die Flüssigkeit nicht mehr über die Mündung der Röhre emporgehoben wurde und überlief; in den andern Schenkel derselben Röhre aber goß er eine gesättigte Auflösung von Zink in Salpetersäure, die er noch überdies eine ganze Woche lang über frischem Zink hatte digeriren lassen. Wurde nun das Kupferende des Multiplicators in die verdünnte Säure, sein Zinkende in die gesättigte Zinkauflösung eingetaucht, so zeigte in demselben Augenblicke die Magnetnadel das Dasein eines Stroms von großer Stärke, obwohl hier das Kupfer fortwährend ziemlich rasch in der Salpetersäure sich aufzulösen fortfuhr und das Zink auf der andern Seite seinen Metallglanz unverändert beibehielt. Als jetzt statt des Zinkendes ein zweites Kupferende substituirt ward, fand allerdings auch — wie Rive dies bemerkt hat — der Art nach noch ein Strom derselben Richtung Statt; aber, wie sich Ohm überzeugte, betrug dieser Strom an Stärke noch nicht den hundertsten Theil des vorigen. Als jetzt beide in die respectiven Flüssigkeiten tauchenden Multiplicatorenden aus Zink genommen wurden, fand wiederum noch derselbe Strom Statt, aber entgegen dem, was Rive bei seiner Art den Versuch anzustellen wahrnahm: der Strom betrug in diesem Falle an Stärke noch lange nicht den zwanzigsten Theil des ersten. Wurde ferner das anfängliche Zinkende zum Kupferende und das anfängliche Kupferende zum Zinkende gemacht und jenes in die Zinkauflösung, dieses in die Säure gesetzt, so entstand in demselben Augenblicke ein Strom von entgegengesetzter Richtung als die vorigen, der an Stärke alle, zuvor durch homogene Metalle erregten, bei weitem übertraf und dem ursprünglichen merklich gleich erschien. Alle diese Umstände sind sehr wohl mit der Contacttheorie, nicht aber mit Rive's chemischer Theorie vereinbar.

Folgender Versuch Marianini's **) gehört ebenfalls hierher und stimmt im Wesentlichen mit dem vorigen überein.

Taucht man in ein Gefäß mit destillirtem Wasser eine Zinkplatte, in ein anderes mit verdünnter Schwefelsäure eine Eisen-, Blei-, Messing- oder Kupfer-Platte und verbindet die Gefäße durch eine mit destillirtem Wasser

*) Dieser wurde entweder mit Wasser oder Salpeterlösung befeuchtet oder auch anfangs trocken gelassen, was für den Erfolg des Versuches sich gleichgültig zeigte.

**) Ann. de Ch. et de Ph. XLV. 132.

gefüllte Heberröhre, die beiden Platten durch den Multiplicator, so wird der Ausschlag des letztern anzeigen, daß das Zink positiv elektrisch ist, ungeachtet es viel weniger angegriffen wird, als das in der verdünnten Säure stehende Metall.

Marianini änderte diesen Versuch so ab, daß er gleichzeitig in das Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure eine Zinkplatte und in das mit destillirtem Wasser eine Platinplatte (beide durch den Multiplicator in Verbindung stehend) tauchte. Die Ablenkung betrug 11°. Er kehrte jetzt den Versuch um, indem er, nach guter Abtrocknung der Platten, das Zink in das Wasser, das Platin in die verdünnte Säure tauchte; die Ablenkung betrug wieder 11°, ungeachtet im ersten Falle sehr starke chemische Wirkung, im letztern keine merkliche Statt fand.

Der letzte Versuch ward mit analogem Resultat mit Silber und Zink in verdünnter Salpetersäure, so wie auch mit Graphit und Zink, Kupfer und Zink, Eisen und Zink wiederholt.

7) Becquerel hat gefunden, daß eine gut polirte Zinkplatte durch Berührung mit einer salpetersauren Zinklösung stets negativ elektrisch wird, wenn man in die Lösung einen Tropfen Salpetersäure oder Schwefelsäure gießt; das Eisen dagegen in Berührung mit einer schwefelsauren Eisenlösung positiv elektrisch, wenn man in die Lösung einen Tropfen Schwefelsäure gießt. — Nun füllte Marianini ein Glas mit einer Auflösung von salpetersaurem Zink, ein anderes mit einer Auflösung von schwefelsaurem Eisen, that in ersteres einen Tropfen Salpetersäure, in letzteres einen Tropfen Schwefelsäure, tauchte in ersteres eine Zink-, in das zweite eine Eisen-Platte und verband diese durch den Multiplicator, die Gefäße aber durch einen mit destillirtem Wasser genetzten Docht. Der Strom ging im Multiplicatordraht vom Eisen zum Zink, d. h. das Zink verhielt sich positiv; dagegen nach der Becquerel'schen Erfahrung die umgekehrte Richtung des Stroms zu erwarten gewesen wäre, wenn, wie die chemische Theorie voraussetzt, bloß die Wirkung der Flüssigkeit auf die Metalle, nicht deren Contactwirkung in Betracht käme. Dieser Versuch wurde mit verschiedenen Abänderungen im Verhältniß der aufgelösten Salze oder der zugesetzten Säure wiederholt; aber mit stets gleichbleibenden Resultaten; dieß war selbst dann noch der Fall, wenn die Quantität Säure, die in die Auflösung, worein das Eisen tauchte, zugefügt ward, einige tausend Mal mehr betrug als die, welche in das andere Gefäß zugesetzt ward.

## Verschiedene Abhandlungen.

Hinsichtlich folgender Abhandlungen verweise ich auf die Originalschriften:

Pohl Versuche und Bemerkungen über das polare Verhalten der Flüssigkeit in der galvanischen Kette, mit Berücksichtigung einiger dahin gehörigen Mittheilungen von Marianini, Pfaff und de la Rive in Pogg. XVI. 101.

Desselben Schreiben an Kastner in Betreff der Bemerkungen, mit welchen dieser einen freien Auszug aus der von Pohl verfaßten Schrift über Magnetismus, Elektricität und Chemismus begleitet hat, in Kastn. Arch. XVI. 247.

Ohm, Nachweisung eines Zusammenhangs des Gesetzes der Elektricitätsverbreitung mit dem der Spannung (in Bezug zu seiner mathematischen Theorie des Galvanismus) in Kastn. Arch. XVII. 1. 452.

---

## II. Electroskopische Erscheinungen einfacher und zusammengesetzter, ungeschlossener und geschlossener Ketten.

---

### Störungen bei elektrometrischen Versuchen.

Ohm *) macht auf die Störungen aufmerksam, die bei elektrometrischen Versuchen mit Zink-Kupfer am condensirenden Elektroskop durch Gegenwart von Zinkoxyd am Zink entstehen können. Er führt in diesem Bezuge folgende Versuche an:

Nimmt man einen Streifen Zink, der lange an feuchter Luft gelegen, und sich gleichmäßig mit einer ziemlich dicken Lage grauen Oxydes überzogen hat, und schabt oder feilt ihn an seinem einen Ende rein metallisch, so zeigt er am Elektrometer nachstehende Erscheinungen. Hält man das blanke Ende desselben mit Leinwand zwischen den Fingern, und berührt mit einem ebenen Theile seines oxydirten Endes ein auf der obern Condensatorplatte liegendes trocknes Stück Leinwand, so wird das Elektrometer nach geschehener Öffnung des Condensators eine von diesem Ende ausgegangene negative Elektricität von großer Stärke anzeigen, die der von Zink-Kupfer nicht sehr viel nachgiebt, wenn die Oxydation des Zinkes vollständig genug geschehen war. Prüft man auf dieselbe Weise den Zinkstreifen in umgekehrter Lage am Condensator, wobei jedoch zum sichern Gelingen des Versuches erfordert wird, daß man das oxydirte Ende mit einer Holzzange, oder wenigstens mit mehrfacher Leinwand festhält, damit die von der Hand ausdünstende Feuchtigkeit keine Gelegenheit erhalte, sich in größerer Menge am Zinkoxyde niederzuschlagen: so wird man eine gleich starke positive Elektricität wahrnehmen. Befeuchtet man nun durch leises Anhauchen oder sonst wie das oxydirte Ende des Zinkstreifens nur sehr wenig, so fallen jene Anzeigen am Elektrometer geringer aus, und sie hören ganz auf, wenn das Zinkoxyd von Feuchtigkeit ganz und gar durchdrungen ist, so daß tropfbar flüssiges Wasser auf seiner Oberfläche sichtbar wird.

*) Schweigg. LXIII. 12.

über die Vertheilung der Berührungs-Elektricität im Spannungszustande in galvanischen Plattenpaaren.

Durch eine Reihe Versuche habe ich für die Vertheilung der Elektricität folgenden Satz nachgewiesen *):

Die Intensität der Elektricität an den Berührungsflächen zweier Metalle ist ohne Vergleich stärker als die Intensität derjenigen Elektricität, welche sich in merklichen Entfernungen von der Berührungsoberfläche über die anderen Theile der Metalle verbreitet, so daß die Vertheilung der Elektricität in zwei sich berührenden Platten ganz dieselbe ist, wie in zwei, durch eine ganz dünne nichtleitende Schicht getrennten, mit entgegengesetzten Elektricitäten geladenen Condensatorplatten.

Die Versuche, welche diesen Satz beweisen, sind folgende:

1) Man berühre eine Zinkplatte von einem oder einigen Quadratzollen Durchmesser, die isolirt oder nicht isolirt seyn kann, wiederholt in ihrer ganzen Fläche mit einer eben so großen isolirten Messing- oder Kupferplatte, und trage deren Elektricität nach jedesmaliger Berührung an den, mit einem Elektroskop verbundenen, Condensator über **), kurz stelle den gewöhnlichen Volta'schen Versuch an. Man wird den bekannten Erfolg erhalten; d. h. nach einigemal wiederholter Übertragung wird (nach Abheben der oberen Condensatorplatte) das Elektroskop eine starke negative Elektricität zu erkennen geben. Zum Beweise jedoch, daß diese Elektricität fast ganz auf Rechnung derjenigen Elektricität kommt, welche während der Berührung an den Berührungsoberflächen gebunden war, bei Trennung der Platten aber frei wird, und sich dann über die ganze Oberfläche der Platten und von da in den Condensator ergießt, wiederhole man den Versuch jetzt auf folgende Weise:

Anstatt die Zinkplatte direct mit der Kupferplatte zu berühren, lege man auf die Zinkplatte eine andre (recht trockene) Kupferplatte, mit ihr von gleichen Dimensionen, und berühre nun diese in ihrer ganzen Fläche wiederholt mit der übertragenden Kupferplatte. Wie oft man solchergestalt die Übertragung wiederholen mag, man wird kein oder höchstens ein sehr schwaches Zeichen von Elektricität wahrnehmen können.

In der That bleibt hier fast die ganze Elektricität, welche bei der ersten Art, den Versuch anzustellen, den Effect hervorbrachte, an der Berührungsfläche derjenigen Kupferplatte, welche direct auf dem Zink liegt, gebun-

*) Biot III. 22.

**) Vor jeder neuen Berührung muß man Sorge tragen, auch die Zinkplatte, wofern sie nicht schon mit dem Boden in Verbindung steht, zu entladen; damit sie bei jeder neuen Berührung dem Kupfer im entladeten Zustande dargeboten werde. Dies gilt auch für die folgende Abänderung des Versuchs. Der Condensator besteht aus gleichem Metall mit der Platte, deren Elektricität an ihn übertragen wird. Das Elektroskop ist am besten ein Bohnenbergersches.

den *), und die zweite Kupferplatte, welche diese berührt, kann mit ihr blos die Elektricität von verhältnißmäßig schwacher Intensität theilen, die sich über die ganze Oberfläche gleichförmig fortpflanzt, und die unter diesen Umständen nicht hinreichend ist, einen bemerklichen Ausschlag am Condensator hervorzubringen, jedoch unter andern Umständen sehr bemerklich werden kann.

In der That, wenn bei der vorigen Art, den Versuch anzustellen, diese Elektricität keinen bemerklichen Erfolg am Condensator hervorbringt, so liegt dies darin begründet, daß der Condensator sich blos der kleinen Quantität Elektricität bemächtigen kann, welche der übertragenden kleinen Kupferplatte jedesmal von der auf dem Zink aufliegenden Kupferplatte mitgetheilt wird. Stellen wir dagegen den Versuch so an, daß wir das auf dem Zink aufliegende Kupfer mit dem kupfernen Condensator direct in Berührung setzen, während zugleich das Zink mit dem Erdboden in Verbindung steht, so wird sich jetzt der Condensator mit der Elektricität, welche sich gleichförmig über die Oberfläche des Kupfers verbreitet, und die sich in dem Maße, als sie entzogen wird, augenblicklich wieder aufs Neue erzeugt, in einem Augenblick vollständig sättigen können, und in der That sehen wir in diesem Falle das Elektroskop starke negative Elektricität anzeigen.

2) Daß bei der erst beschriebenen Art des Volta'schen Versuchs alles auf Größe und Glätte der Berührungsflächen ankommt, um ein merkliches Resultat zu erlangen, war schon früher bekannt. Je größer und glätter nämlich die Berührungsoberflächen sind, um so mehr wächst die Quantität der sich an diesen Berührungsoberflächen anhäufenden condensirten, und bei Trennung der Flächen frei werdenden Elektricität. Eben so bekannt ist, daß bei der Modification des Volta'schen Versuchs, wo man den kupfernen Condensator mit nicht isolirtem Zink berührt, so daß der Condensator zugleich als Elektromotorplatte dient, nichts darauf ankommt, ob er in viel oder wenig Punkten, einmal oder oft, berührt wird. Hier nämlich hängt der Effect nicht von der, an der Berührungsoberfläche condensirten, Elektricität ab, sondern von der gleichförmig sich verbreitenden Elektricität, mit welcher sich der Condensator auf einmal sättigt. Die Intensität, welche der Condensator auf letzte Weise zu erlangen vermag, ist aber, wie ich mich überzeugt habe, beträchtlich schwächer, als die er auf erstere Weise zu erlangen vermag, wo man die Elektricität einer Platte, die eine andre mit größerer und glatterer Fläche berührt, recht oft nach Trennung von derselben an ihn überträgt.

3) Legt man auf eine isolirte oder nicht isolirte Kupferplatte eine

*) Daß wirklich die Elektricität von starker Intensität, welche an der Berührungsfläche vorhanden ist, nicht merklich über sie hinausreicht, habe ich dadurch gefunden, daß ich das Kupfer nur unter Zwischenlegung eines unächten Goldblatts (Kupfer) mit Kupfer berührte, auch in diesem Falle konnte letzteres durch wiederholte Übertragung an den Condensator keine merklichen Anzeigen von Elektricität zuwege bringen.

Zinkplatte, und berührt diese Zinkplatte wiederholt in ihrer ganzen Fläche mit einer eben so großen isolirten Kupferplatte, die man jedesmal nachher abhebt und am Condensator entladet, so wird der Condensator merklich dieselbe negative Ladung erhalten, als wenn die untere Kupferplatte gar nicht vorhanden gewesen wäre; denn die übertragende Kupferplatte zeigt zwar, wie dies bekannt ist, kein Zeichen von Elektricität, so lange sie auf der Zinkplatte liegen bleibt, weil die gleichförmig sich verbreitende negative Elektricität, die sie durch Berührung mit dem Zink annimmt, neutralisirt wird durch die eben so starke positive Elektricität, die von dem Zink, vermöge dessen Berührung mit dem untern Kupfer, darauf übergeht; allein bei Trennung der obern übertragenden Kupferplatte von der Zinkplatte wird jedesmal die an ihren gegenseitigen Berührungsflächen condensirte Elektricität frei und diese bewirkt jetzt den Ausschlag.

4) Folgender Versuch steht in genauem Zusammenhange mit den vorigen:

Man errichte mit Wasser eine Säule von 20 bis 25 Plattenpaaren von Guldengröße, in der Anordnung

Zink
Kupfer
Feuchter Leiter
Zink
Kupfer u. s. w.

so daß eine Zinkplatte, welche fein und gleichförmig abgefeilt oder abgeschliffen seyn muß, den obern Pol der Säule bildet. Ihren untern oder Kupferpol setze man durch eine Metallkette mit dem Boden in Verbindung. Man berühre die obere isolirte Zinkplatte wiederholt mit der Ecke einer eben so großen isolirt gehaltenen Kupferplatte, deren dabei erlangte Elektricität man jedesmal an ein condensirendes Elektroskop überträgt. Hierbei ist die Elektricitätsmenge, die das Kupfer durch die directe Berührung mit dem Zink annimmt, wegen der kleinen Berührungsgröße als unmerklich außer Acht zu lassen, und die Kupferplatte wird sonach blos vermöge der Elektricität, die vom Zinkpol auf sie übergeht, geladen erscheinen können. In der That giebt das Elektroskop nach einigemal wiederholten Übertragungen positive Elektricität zu erkennen.

Die Intensität dieser vom positiven Pol auf die Kupferplatte übergehenden Elektricität ist jedoch weit geringer als die Intensität der negativen Elektricität, welche auf der Berührungsfläche des Kupfers mit dem Zink condensirt und nach der Entfernung davon frei wird; und blos die geringe Quantität dieser condensirten Elektricität bewirkte bei vorigem Versuche das Übergewicht der positiven Elektricität des Pols. In der That, man wiederhole jetzt den vorigen Versuch so, daß man den Zinkpol, anstatt ihn blos mit einer Ecke der Kupferplatte zu berühren, mit der ganzen Fläche derselben berührt. Nach einigemal wiederholter Übertragung wird jetzt das Elektroskop starke negative Elektricität zu erkennen geben. Hier

nach muß es einen mittlern Grad der Berührungsgröße geben, wo beide Elektricitäten sich vollkommen compensiren und selbst nach wiederholter Übertragung an das Elektroskop dieses gar keine Elektricität empfängt. Wirklich bestätigt dies die Erfahrung.

Unstreitig wird bei einer größern Anzahl von Plattenpaaren die Intensität des Pols so stark, um unter keinen Umständen mehr das Übergewicht der condensirten Elektricität zuzulassen. Ich habe jedoch vernachläsigt, den Versuch so weit auszudehnen.

## Elektroskopische Wirkungen der geschlossenen einfachen galvanischen Kette, von Ohm *).

Ohm führt als ein, aus der Gesammtheit seiner Versuche hervorgehendes, Resultat über diesen Gegenstand Folgendes an:

Es mögen sich in einer geschlossenen galvanischen Kette die beiden Metalle einander in vielen oder in den wenigst möglichen Punkten berühren, die Flüssigkeit mag noch so schlecht oder noch so gut leitend seyn, und sie mag die Metalle in einer sehr großen oder in einer sehr kleinen Fläche berühren, der Abstand zwischen den beiden Metallflächen mag noch so gering oder noch so beträchtlich seyn: so zeigen diejenigen Theile der beiden Metalle, welche zunächst diesseits und jenseits der Berührungsstelle liegen, stets und zwar genau dieselbe Spannung, wie in der ungeschlossenen Kette, ja diese Unveränderlichkeit der Spannung behauptet sich in allen Ketten von bisher üblicher Form sogar in der ganzen Ausdehnung der Metalle in einer stets gleichen Weise.

Nicht nur in Bezug auf dies Gesetz, sondern auch in Bezug auf den elektrischen Zustand, den die einzelnen Stellen des flüssigen Leiters in einer seit längerer Zeit geschlossenen Kette darbieten, hat Ohm mehrere Versuche bekannt gemacht, deren Resultate wir hier mittheilen werden. Die erste Reihe dieser Versuche betrifft eine einfache Zinkkupferkette, welche mit destillirtem Wasser, die andre eine solche, welche mit Kochsalzauflösung geschlossen war, die dritte eine mit Brunnenwasser geschlossene Kette. Bei allen geschahe die Prüfung erst, nachdem schon längere Schließung vorausgegangen war. Wir wollen das Allgemeine, was sich über diese Versuche aussagen läßt, voranschicken.

Die Resultate, welche mit dem Kochsalzwasser und Brunnenwasser erhalten wurden, unterscheiden sich auffallend von denen, welche mit destillirtem Wasser erhalten wurden; die mit letzterm erhaltenen Resultate verhalten sich genau so, wie sie Ohm schon früher (Pogg. Ann. VI. 459 und in s. Schrift: die galvanische Kette) aus theoretischen Gründen abgeleitet hat. Die mit Kochsalzwasser und Brunnenwasser erhaltenen Resultate aber stimmen blos dann mit diesen Formeln überein, wenn man neben der zwischen Kupfer und Zink sich bildenden bekannten Spannung noch eine zweite voraussetzt, die (durch den Einfluß der Strömung selbst) in entgegengesetz-

*) Schweigg. LXIII. 1.

ter Richtung zwischen dem Kupfer oder der Flüssigkeit sich bildet *) und jener an Stärke zwar nicht völlig, aber doch nahe gleich kommt; oder auch wenn zwischen dem Kupfer und der Flüssigkeit in sehr geringer Ausdehnung ein großes Leitungshinderniß (Übergangswiderstand nach meiner Bezeichnung) vorausgesetzt wird. Ohm ist geneigt, blos den ersten Umstand hierbei im Spiele anzunehmen; da man sich in der That von dessen Vorhandenseyn nach dem in Schweigg. Jahrb. LX. 30. angegebenen Verfahren überzeugen kann. Ich meinerseits muß gestehen, daß ich nach meinen direct messenden Versuchen, deren ich mehrere in Kochsalzauflösung, viele in Brunnenwasser angestellt habe, und die sich in meinen Maßbestimmungen der galvanischen Kette verzeichnet finden, beide Ursachen zugleich im Spiele annehmen muß. Denn constant hat sich mir hierbei, wenn die Kette 5 Minuten oder später nach der Schließung geprüft ward, sowohl eine verminderte elektromotorische Kraft (welche nichts hindert, mit Ohm als von einer Gegenspannung abhängig anzunehmen) als ein vermehrter Übergangswiderstand, welche beide Elemente sich nach dem von mir angewandten messenden Verfahren recht wohl trennen lassen, zu erkennen gegeben. Es reicht hin, in diesem Bezuge einen Blick auf die Tabelle in meinen Maßbestimmungen S. 252 zu werfen, die ich weiterhin auch in diesem Repertorium mittheilen werde. Bemerkenswerth ist übrigens, daß eine so geringe Quantität Salztheile, als im Brunnenwasser vorhanden ist, schon so bedeutende Modificationen in der Kette hervorbringen kann, als nach Ohm's Versuchen erhellt.

Erste Versuchsreihe, Schließung mit destillirtem Wasser. Als einfache Kette wurde hier ein Bogen aus zwei, mit ihren einen Enden zusammengelötheten, Streifen Zink und Kupfer angewandt, der halbkreisförmig gebogen war; als feuchter Leiter diente baumwollenes, nur leicht zusammengedrehtes, mehrfach genommenes, mit destillirtem Wasser wohl durchnäßtes Strickgarn, welches von einem Ende des Bogens zum andern gespannt wurde.

A. Wurde der Kupferstreifen dieser Kette zwischen die Finger gefaßt, die Kupferplatte des Condensators **) mit der andern Hand ableitend berührt, und:

1) irgend eine Stelle des Zinkstreifens dieser Kette mit dem am Condensator hervorragenden Zinkstift in Berührung gebracht, so gab das Elektrometer in dieser Stelle nach geschehener Öffnung des Condensators positive Elektricität zu erkennen, und zwar ganz von derselben Stärke, wie sie dieselbe Kette gezeigt hatte, ehe noch die nasse Baumwolle in sie gespannt worden war.

*) Daß sie sich wirklich erst durch die Strömung bildet, beweist Ohm dadurch, daß unmittelbar nach der Schließung die Erscheinungen im Salzwasser denen nahe stehen, die reines Wasser giebt, ja bei hinreichend schnell angestelltem Versuche ganz in sie übergehen.

**) Bestehend aus einer Kupferplatte und einer Zinkplatte, jede mit einem vorstehenden Stifte von gleichartigem Metalle versehen.

2) Wurde unter denselben Umständen der zunächst am Zinkstreifen liegende Theil der nassen Baumwolle mit dem Zinkstift am Condensator in Berührung gebracht, so gab das Elektrometer eine Elektricität von derselben Art und Stärke wie eben zu erkennen.

3) Wurden successiv andre Stellen des Baumwollenfadens, welche näher nach dem Kupferende der Kette zu lagen, mit dem Zinkstift in Berührung gebracht, so nahm der Ausschlag des Elektrometers, wiewohl der Art nach gleich bleibend, doch an Stärke um so mehr ab, je näher die geprüfte Stelle an dem Kupferende lag, so daß in der Mitte des nassen Fadens die Anzeige der von einer halben Zinkkupferspannung sehr nahe kam, in ¼ Durchmesser Abstand vom Kupferende nur sehr schwach war, zunächst am Kupferende aber ganz aufhörte.

B. Faßt man statt des Kupferstreifens den Zinkstreifen der Kette zwischen die Finger, berührt die Zinkplatte des Condensators mit der andern Hand, und bringt dann, vom Kupferstreifen ausgehend, die verschiedenen, unter A angezeigten, auf die verwechselten Metalle bezogenen Stellen der nassen Baumwolle mit dem Kupferstifte der andern Condensatorplatte in Berührung, so wird man am Goldstreifen des Elektrometers der Reihe nach ganz dieselben Bewegungen, wie sie unter A aufgezeichnet sind, wiederfinden.

Zweite Versuchsreihe, Schließung mit Kochsalzwasser. Zu dieser Versuchsreihe wurde ein 3 Zoll langes, ¾ Zoll breites und ein Zoll tiefes, rechtwinklig parallelepipedisches Glasgefäß und ein Zinkkupferbogen angewandt, an dessen beiden Enden Seitenansätze, die mit dem übrigen gleichartigen Metall auf derselben Seite ein Continuum ausmachten, angebracht waren, und die sich genau an die schmalen Wände des Glasgefäßes anlegten, und dem Bogen Haltung gaben, wenn er mit ihrer Hülfe, wie ein Haken, in das Glasgefäß eingesenkt worden war. Der Zwischenraum zwischen diesen beiden, in das Glasgefäß gesenkten, Seitenansätzen wurde mit einer ziemlich starken Kochsalzlösung gefüllt und dann die so gebildete geschlossene Kette hinsichtlich ihres elektrischen Zustandes geprüft, indem der Verf. entweder eine Stelle der Kette und zugleich die eine Condensatorplatte ableitend berührte, und während dies geschahe, von der andern Condensatorplatte nach der zu prüfenden Stelle der Kette eine blos leitende Verbindung mittelst eines mit reinem Wasser benetzten Baumwollenfadens gehen ließ, oder indem er zwei mit den Condensatorplatten aus einerlei Metall gebildete und an isolirende Glasröhren befestigte Drähte, die an einem ihrer Enden Ansätze von mit reinem Wasser benetzter Leinwand oder Baumwolle erhalten hatten, mit ihren metallischen Enden an die gleichartigen Condensatorplatten anlegte, und zu gleicher Zeit die zwei auf ihren elektrischen Zustand zu prüfenden Stellen der Kette mit den befeuchteten Ansätzen der beiden Drähte in Berührung brachte. Beide Arten, den Versuch anzustellen, gaben dieselben Resultate, die auch dann noch dieselben blieben, wenn statt der ableitenden Berührung eines metallischen Theils

und der einen Condensatorplatte, falls diese mit jenem Theile aus einerlei Metalle bestand, ein Draht von demselben Metalle die Gemeinschaft zwischen beiden herstellte. Bei jeder einzelnen Beobachtung wurden die mit reinem Wasser befeuchteten Ansätze an beiden Drähten, welche ohnehin nur einen Augenblick lang in der Flüssigkeit Dienste zu thun hatten, immer wieder durch frische ersetzt.

A. Geschah die eine Berührung der Kette am Kupfer, die andre am Zink, oder an irgend einer Stelle der Flüssigkeit: so zeigten letztere Stellen stets eine stark positive Elektricität, die am Kupfer eine eben so stark negative. Die Stärke dieser Anzeigen war in allen diesen Fällen nähehin dieselbe und kam derjenigen gleich, welche ein ungeschlossener Zink-Kupferstreifen an demselben Elektrometer hervorrief; nur eine recht aufmerksame Beobachtung der jedesmaligen Bewegung des Goldstreifens, unterstützt durch eine in solchen Versuchen zu erlangende Sicherheit des Blickes wird im Stande seyn, eine höchst geringe Verminderung der elektrischen Anzeigen in dem Maß, als die berührte flüssige Stelle der Kette dem berührten Kupfer näher rückt, zu erkennen, die jedoch, wenn die Salzauflösung nicht zu schwach ist, auf keinen Fall den achten Theil einer Zink-Kupferspannung ausmacht.

B. Geschah die eine Berührung der Kette am Zinke, die andere an irgend einer Stelle der Flüssigkeit: so waren alle Anzeigen am Elektrometer nur höchst geringe, und zwar völlig null, wenn die berührte Stelle der Flüssigkeit nahe am Zinke lag und kaum $\frac{1}{8}$ einer Zink-Kupferspannung betragend, wenn die berührte Stelle der Flüssigkeit zunächst am Kupfer lag; übrigens entsprach die Zinkstelle einer positiven, die übrigen Stellen einer negativen Elektricität, so wie die Anzeigen irgend merklich wurden. Indessen muß begreiflich hier, wo alle Anzeigen nur höchst geringe sind, auf die Entfernung aller blos zufällig herbeigeführten Wirkungen die größte Sorgfalt verwandt werden.

Dritte Versuchsreihe, Schließung mit Brunnenwasser, auf analoge Weise als die vorige Versuchsreihe angestellt. — Wurde hier das Kupfer ableitend berührt: so gab die zunächst an ihm liegende Flüssigkeitsstelle am Elektrometer in Zink-Kupferspannungen gemessen, wie durch eine unmittelbare Vergleichung erkannt wurde, schon $+ \frac{1}{2}$, die Mitte der Flüssigkeit $+ \frac{3}{4}$, und ihre zunächst am Zink anliegende Stelle oder das Zink selber $+ 1$; wurde hingegen das Zink ableitend berührt: so zeigte die Flüssigkeit zunächst am Zinke 0, in der Mitte $- \frac{1}{4}$, zunächst am Kupfer $- \frac{1}{2}$ und das Kupfer selbst $- 1$.

### Über die unipolaren Leiter.

Untersuchungen Ohm's *). Durch neue Untersuchungen Ohm's haben wir über die Ursache der scheinbar so paradoxen Eigenschaft der

*) Schweigg. J. LIX. 385. LX. 1.

Unipolarität ziemlich sichere Aufklärungen erhalten, wodurch sie alles Wunderbare verlieren. Folgendes sind die Resultate, die aus diesen Untersuchungen hervorgehen:

1) Die negative Unipolarität der Seife ist keine Eigenschaft, welche der Seife an sich zukommt, sondern sie entsteht dadurch, daß vermöge chemischer Wirkung der Kette auf die Seife, welche zur Schließung dient, sich ein schlechtleitender Überzug (Fettsäure?) an der Berührungsfläche des positiven Polardrahts mit der Seife bildet; wodurch die Phänomene der Unipolarität sofort erklärlich werden. In der That läßt sich nachweisen, daß die Ausbildung der Unipolarität bei der Seife eine zwar nur sehr kleine, aber doch wahrnehmbare Zeit bedarf, um zu Stande zu kommen; und eben so ist eine wirklich unter dem Einflusse der Kette erfolgende Zersetzung der Seife nachweisbar.

2) Die hier von der Seife gegebene Erklärung der Unipolarität scheint auch auf die Unipolarität der Flammen und andrer Körper sich anwenden zu lassen, in welchem Bezuge jedoch noch hinreichende Gewißheit fehlt.

3) Ein neuaufgefundener Körper von ausgezeichnet negativ unipolaren Eigenschaften ist die concentrirte Schwefelsäure, wenn sie zwischen Polardrähten von Zink oder Messing angebracht wird, dagegen sie zwischen Polardrähten von Platina oder Gold keine unipolaren Eigenschaften zeigt. Bei jenen Metallen erfolgt die, hier eine sehr merkliche Zeit zur Ausbildung bedürfende, Entstehung der Unipolarität vermöge Bildung eines in concentrirter Schwefelsäure unauflöslichen Überzuges von schwefelsaurem Zink.

4) Ohm führt unter den unipolaren Erscheinungen noch gewisse andre auf, die zwar der Äußerung nach den vorigen analog, aber auf anderm Grunde (Bildung einer Gegenspannung) beruhend sind, und die mir, da ihre Beziehung zu den vorigen in der That nur eine äußere ist, passender an einem andern Orte scheinen aus einander gesetzt zu werden.

Zu 1). Zum Beweise, daß die Ausbildung der Unipolarität bei der Seife eine gewisse Zeit bedarf, dient folgender Versuch:

Mit dem positiven Pole einer galvanischen Säule (aus 100 Zink-Kupferpaaren mit Kochsalzauflösung) stand ein Bohnenbergersches Elektrometer in Verbindung, dessen Polknöpfe so weit aus einander gerückt waren, daß der Goldstreifen, ohne anzuschlagen, etwa ½ Zoll weit aus seiner natürlichen Lage abgelenkt ward, wenn man den negativen Pol der Säule mit dem Erdboden in Verbindung setzte. Nun steckte Ohm in ein noch ungebrauchtes Seifenstück zwei blanke Messingdrähte von ½ Lin. im Durchmesser, so daß ihre Spitzen etwa ½ Zoll von einander entfernt blieben, und brachte den einen dieser Drähte mit dem negativen Pol der Säule in Verbindung, während die Seife fortwährend zwischen den Fingern gehalten ward, so daß der Goldstreifen fortwährend seinen höchsten Stand einnahm. Während nun so der eine Draht in sicherer Verbindung mit dem negativen Pol war, ließ Ohm den andern Draht, die Seife stets zwischen den Fin-

gern haltend, auf den positiven Pol herab, das Elektrometer dabei unverrückt im Auge behaltend. In dem Augenblicke, wo dieser Draht den positiven Pol berührte, fiel der Goldstreifen seiner natürlichen Stellung zu, zum Zeichen, daß im ersten Augenblicke keine unipolare Wirkung Statt fand; indeß noch ehe er die natürliche Stellung erreicht hatte, wurde er in seinem Falle aufgehalten und sogleich wieder auf seinen höchsten Stand zurückgetrieben, welches beweist, daß die Veränderung, welche die unipolare Wirkung bedingt, ausnehmend schnell einzutreten vermag.

Hebt man nach wenig Augenblicken den letzten Draht wieder vom positiven Pole ab, und läßt ihn nach einiger Zeit wieder auf denselben Pol herab, während der erste Draht unablässig mit dem negativen Pol in Verbindung bleibt, so wird der Goldstreifen nicht mehr fühlbar von seinem ersten Stande ab gegen seine natürliche Stellung hingetrieben werden. Ja man kann die Seife sammt ihren beiden Drähten aus der Säule ganz herausnehmen und sie längere Zeit ($\frac{1}{4}$ Stunde) an einem beliebigen Orte ruhig liegen lassen, so wird doch bei Wiederholung des Versuchs (mit Vorsicht die Poldrähte wieder an ihre frühern respectiven Pole zu bringen) der Goldstreifen im Augenblicke der Schließung seinen höchsten Stand nicht im Mindesten verlassen. Die Änderung ist sonach dauernd.

Kehrt man aber nach einem so vorausgegangenen Versuche die Seife mit ihren Drähten um, und wiederholt denselben Versuch ganz auf dieselbe Weise, so daß jetzt das mit Drähten bewaffnete Seifenstück in umgekehrter Richtung die Säule schließt, so tritt im Augenblicke, wo der verwechselte Draht den positiven Pol berührt, nachdem der andre Draht mit dem negativen Pol in Verbindung gebracht worden ist, wieder das zuerst beobachtete Fallen des Goldstreifens seiner natürlichen Stellung zu, sein Stillstand unterwegs und sein unmittelbar darauf erfolgender Rückgang in die Stellung, von welcher er hergekommen ist, ganz in der frühern Weise ein. Wiederholt man, nachdem dieses geschehen ist, denselben Versuch bei derselben Lage des Seifenstücks aufs Neue, so tritt dieselbe Erscheinung nicht zum zweiten Male wieder ein; aber durch Umkehrung des armirten Seifenstücks kann man sie so oft wieder aufs Neue hervorrufen, als man will. Der Erfolg dieser Versuche bleibt stets derselbe, wenn man nur an der Art, wie die Drähte mit der Seife verbunden sind, keine Änderung vornimmt; denn jedes Herausnehmen der Drähte aus der Seife und Wiederhineinstecken in dieselbe, selbst wenn es in die alten Löcher geschieht, hebt in der Regel die Wirkung des vorangegangenen Versuches auf und macht den Erfolg in jedem Falle zweifelhaft.

Man kann die in den eben beschriebenen Versuchen sich kund gebende Erscheinung noch auf eine andre Weise verfolgen und so die Beobachtung gewissermaßen vervollständigen, indem man untersucht, welchen Einfluß sie auf den negativen Pol ausübt. In dieser Absicht bringe man jetzt das Elektrometer vom positiven Pole weg und mit dem negativen Pole in Ver-

bindung, und nehme ein noch ungebrauchtes Seifenstück, mit neuen, in dasselbe eingesteckten, Drähten. Nimmt man mit diesem neuen Seifenstücke den vorigen Versuch ganz in der alten Weise wieder vor, indem man, die Seife zwischen den Fingern haltend, ihren einen Draht mit dem negativen Pol in Verbindung setzt, wodurch jetzt der Goldstreifen im Elektrometer seine natürliche Lage einzunehmen veranlaßt wird, und, nachdem dieses geschehen ist, den andern Draht mit dem positiven Pol in Berührung bringt: so wird der Goldstreifen im Augenblicke der Schließung seine eingenommene Stellung nicht im Geringsten ändern; kehrt man aber hierauf das Seifenstück um und wiederholt denselben Versuch in derselben Weise, so wird jetzt der Goldstreifen im Augenblicke der Schließung seine natürliche Stellung verlassen und derjenigen zueilen, welche er in der offenen Säule einnimmt, wenn der positive Pol mit der Erde in Verbindung gesetzt wird; jedoch wird er auch hier schon unterweges aufgehalten und wieder in seine natürliche Stellung zurückgetrieben. Letztere Erscheinung stellt sich bei einer Wiederholung desselben Versuchs in derselben Art nicht wieder ein, kann aber durch Umkehrung des Seifenstücks sammt seinen Drähten so oft wieder hervorgerufen werden, als man will. Auch hier hat die Zeit auf den Erfolg des Versuchs keinen Einfluß.

Zum Beweise, daß nicht etwa (wie Configliachi vermuthete) eine an der Seife eingetretene Gegenspannung Ursache der beobachteten unipolaren Erscheinungen sey, prüfte Ohm das Seifenstück, welches zur Schließung gedient hatte, mit seinen beiden Drähten am Elektrometer ohne Zuziehung des Condensators (der unnütz gewesen wäre, weil eine nur durch ihn bemerkliche Wirkung zur Erklärung der unipolaren Erscheinungen nichts hätte beitragen können) hinsichtlich einer zwischen der Seife und dem positiven Drahte vorhandenen Spannung; allein es zeigte sich keine Spur davon. Es bleibt daher nichts übrig als anzunehmen, daß zwischen positivem Drahte und Seife ein durch den Strom selbst gebildeter Leitungswiderstand eingetreten sey, den man mit Fug in der hieher gehenden Fettsäure suchen kann. Daß in der That die Seife unter den Umständen, unter denen sich die unipolaren Erscheinungen äußern, zersetzt wird, erhellt aus der Angabe Prechtl's (Gilb. XXXV. 99), daß, wenn man die völlig trockenen Enden der Polardrähte in die isolirte Seife bringt, sie nach kurzer Zeit wieder aus derselben herausnimmt und sie auf alkalisch reagirendem Papier abwischt, immer das negative Ende eine alkalische Reaction zeigt, das positive aber keine oder zuweilen nur äußerst geringe.

Nach dem Vorstehenden wird sich nun auch, wenn man die Art, wie chemische Zersetzungen an Zwischendrähten erfolgen (Biot III. S. 381) mit in Rücksicht nimmt, der Erfolg nachstehenden zusammengesetztern Versuchs *) erklären lassen:

*) Seine Anordnung kann durch Fig. 21 auf Taf. VIII. in Biot III. versinnlicht werden, ist indeß auch ohnedieß klar.

Man nehme zwei noch ungebrauchte Seifenstücke von völlig gleicher Größe und Gestalt, verbinde beide durch einen blanken Metalldraht (der hier einen Zwischendraht vorstellt) mit einander und versehe noch überdies jede der von einander abgewandten Flächen der beiden Seifenstücke mit einem Drahte von derselben Stärke, dergestalt, daß alle Drähte gleich tief in die Seife ragen und keiner den andern berührt. Verbindet man nun die äußersten Drähte dieser Vorrichtung mit den Polen der Säule, so wird man folgende Erscheinungen wahrnehmen. Berührt man den Draht, welcher mit dem negativen Pole zusammenhängt, oder das auf derselben Seite befindliche Seifenstück, an irgend einer Stelle mit dem Finger, so wird der negative Pol alle Spannung verlieren, der positive Pol hingegen seine höchste Spannung annehmen; berührt man aber den mittlern Draht oder irgend eine Stelle des andern Seifenstücks mit dem Finger, so werden beide Pole Spannungen von gleicher Stärke annehmen, gerade so, als wenn die Säule noch ungeschlossen und in ihrer Mitte mit dem Erdboden in Verbindung wäre; berührt man endlich den positiven Pol selbst oder den mit ihm vereinigten Draht der Seifenvorrichtung, so verliert dieser Pol alle Spannung und der negative nimmt seine größte Spannung an.

Noch eine Abänderung dieses Versuchs findet sich in der Originalabhandlung (Schweigg. LIX. S. 410) angeführt.

Mit dem Erfolge bei letzterm Versuche scheint allerdings die Angabe Erman's (Biot III. S. 90) in Widerspruch zu stehen, welcher an einer ähnlichen, aus zwei Seifenstücken zusammengesetzten, Vorrichtung blos das dem positiven Pole zugekehrte Seifenstück unipolar wirkend fand, nämlich so, daß der negative Pol alle Spannung verlor, der positive Pol hingegen das Maximum der Spannung annahm, man mochte den mittlern Draht oder eins der beiden Seifenstücke, an welcher Stelle es immer war, ableitend berühren; erst dann, nachdem zwischen dem positiven Polardraht und der damit zusammenhängenden Seife ein feuchter Leiter so gelegt worden war, daß er beide zugleich berührte, erhielt das andre Seifenstück unipolare Eigenschaften. Dieser Erfolg ist indeß nach Ohm ein anomaler, der nur dann Statt finden kann, wenn das Seifenstück mit dem positiven Polardrahte schon von einem vorhergehenden Versuche eine Veränderung erlitten hat, wie in der Originalabhandlung näher erörtert wird.

Zu 2). Was die andern Körper betrifft, von denen bisher unipolare Eigenschaften bekannt waren, wie trockner Eiweißstoff, Flammen u. s. w. so hat Ohm keine detaillirten Versuche (die hier zum Theil nicht ohne Schwierigkeit seyn würden) angestellt, aus welchen sich die Abhängigkeit ihrer unipolaren Eigenschaft von Bildung eines schlechtleitenden Überzugs ergäbe, doch hat er manche Erörterungen beigefügt, um die Möglichkeit einer solchen Bildung unter den Umständen der betreffenden Versuche darzuthun. Er erinnert überdies, er habe den Hauptumstand, daß die Ursache der Unipolarität nicht schon ursprünglich in den Körpern vorhanden sey, auch an einigen, deshalb der Prüfung unterworfenen, Flammen wiedergefunden.

Zu D). Zwischen die beiden Hälften der oben beschriebenen frisch aufgebauten Säule von 100 Plattenpaaren wurde **concentrirte Schwefelsäure** gebracht, und von jedem Pole ein ½ Linie starker **Messingdraht** in die Säure geleitet, doch ohne daß sie sich unter einander unmittelbar berührten. Wurde nun der negative Polardraht oder irgend eine Stelle der concentrirten Schwefelsäure durch Berührung mit dem Finger (?) oder irgend einem andern Leiter mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt, so verlor stets der negative Pol **alle** Elektricität; dagegen stieg das Elektrometer am positiven Pole zu seiner **größten** Höhe an, und erst, wenn der positive Polardraht ableitend berührt ward, verlor der positive Pol alle Elektricität, und die des negativen erreichte zugleich ihren höchsten Grad. Solchergestalt gab sich die concentrirte Schwefelsäure als ein negativ unipolarer Körper von solcher Stärke zu erkennen, daß sie keinem der vorhin erwähnten irgend nachstand.

Diese Unipolarität der Schwefelsäure kommt ihr jedoch nur dann zu, wenn man gewisse Metalle am positiven Pole als Drähte anwendet (am negativen Pole ist die Beschaffenheit der Drähte gleichgültig für den Erfolg). So kann man dem Messingdraht auch Zinkdraht, und mit geringer Einschränkung selbst Kupfer- oder Silberdraht, unbeschadet der unipolaren Eigenschaften substituiren; dagegen bei Anwendung von Gold- oder Platindraht, so wie von Blei- oder Zinndraht (deren Verhalten jedoch nicht ganz so constant ist) am positiven Pole keine unipolare Wirkung eintritt.

Wird der concentrirten Schwefelsäure nach und nach in sehr kleinen Portionen Wasser zugesetzt, so nehmen allmälig ihre unipolaren Eigenschaften ab und verschwinden bald ganz und gar. Bringt man nämlich die Säure mit dem Erdboden in Verbindung, wobei der negative Pol alle Elektricität verliert und der positive anfänglich seine stärkste zeigt, so wird während des Zusetzens von Wasser zur Säure der negative Pol zwar fortwährend ohne Spannung bleiben, aber auch der positive Pol wird bald von seiner Spannung etwas verlieren, dann immer mehr, und zuletzt gar keine mehr zeigen, wenigstens am unbewaffneten Elektrometer. Die Quantität Wasser, welche der concentrirten Schwefelsäure zugesetzt werden darf, bis ihre unipolaren Eigenschaften merklich abzunehmen beginnen, ist jedoch nicht von so ausnehmend geringem Umfange, daß durch diesen Umstand das Experimentiren beschwerlich werden könnte, zumal wenn man alle den Versuchen fremde wässerige Flüssigkeiten aus dem Zimmer entfernt. Man kann dann mit einer einige Linien tiefen Schicht Säure eine Stunde lang und darüber experimentiren, ohne daß die Anzeigen am Elektrometer im Mindesten geändert würden; daher ist auch meistens schon gewöhnliche verkäufliche concentrirte Schwefelsäure zu den Versuchen entwässert genug.

In jenem Zustande, wo die Schwefelsäure die unipolaren Erscheinungen am Elektrometer noch vollständig bewirkt, sind auch alle Stromeswirkungen, wie bei der Seife, fast ganz verschwunden. Wie bei der Seife bleiben auch hier alle eben angegebene Erscheinungen noch ganz dieselben,

wenn man den negativen Draht und die Säure durch einen feuchten Leiter verbindet; und beide Elektrometer zugleich fallen zusammen, die Säule giebt Schläge und Wasserzersetzung tritt ein, wenn die nasse Verbindung vom positiven Drahte zur Säure geschieht. Hierin aber unterscheidet sich die Schwefelsäure von der Seife, daß statt des feuchten Leiters auch Drähte von Platin, Gold, Blei oder Zinn genommen werden können, ohne daß dadurch der vorerwähnten Stromesverstärkung Eintrag geschahe.

Daß auch bei der Schwefelsäure die Unipolarität erst durch die Strömung selbst erzeugt wird, mittelte Ohm zwar nicht, wie bei der Seife durch das Elektrometer, sondern durch einen in den Kreis der Säule eingeschalteten Multiplicator aus; indem er fand, daß, wenn die Kette zwischen Polardrähten aus Messing oder Zink mit concentrirter Schwefelsäure geschlossen ward, die Wirkung auf den Multiplicator zwar im ersten Augenblicke einen sehr bedeutenden Ausschlag (bis über 90°) gab, der aber nach 2 Minuten nie über 5° betrug. Da nun die Unipolaritätserscheinungen stets blos insofern auftreten, als die Strömungswirkungen verschwinden, so schloß er aus dieser Erfahrung *), daß auch bei der concentrirten Schwefelsäure die Unipolarität erst einer gewissen Zeit zu ihrer Ausbildung bedarf, und dies um so mehr, da Gold und Platin, welche keine unipolaren Erscheinungen zeigten, auch eine viel größere bleibende Wirkung auf die Nadel zeigten, indem hier der Ausschlag (nach 2 Minuten) nie unter 75° betrug. Bei Blei, Zinn, Eisen, Silber und Kupfer war der Ausschlag (nach 2 Minuten) in der Ordnung, wie diese Metalle aufgeführt worden sind, geringer als bei Gold und Platin; doch zeigte er sich hier mehr wechselnd.

Die Wirkungsverhältnisse der verschiedenen Metalle in concentrirter Schwefelsäure bleiben nahehin dieselben, wenn man gleich die Anzahl ihrer Elemente bis auf 5 oder 4 vermindert; ist man aber in dieser Verminderung bis auf drei oder noch weniger Zink-Kupferelemente fortgeschritten, so wird die Complication mit dem Ladungszustande, den die Pole annehmen, bemerklich, wodurch das Verhältniß bei den verschiedenen Metallen abgeändert wird.

Bei der Schwefelsäure läßt sich übrigens die Abhängigkeit der unipolaren Erscheinungen von Bildung eines schlechtleitenden Überzuges am positiven Polardrahte mit noch größerer Bestimmtheit als bei der Seife nachweisen. Man bemerkt nämlich, daß sich Zink und Messing in der Kette an ihren positiven Stellen mit einer dichten Rinde, aus einer derben salzartigen Masse gebildet, überziehen, die an der Luft oder über der Weingeistflamme getrocknet, von weißer, bei Messing von dunkelgrüner Farbe ist, und in beiden Fällen zum größten Theile aus schwefelsaurem Zinke zu bestehen scheint; daß aber Gold und Platin an derselben Stelle selbst nach

*) Bei der Allgemeinheit der Wirkungsabnahme der Ketten nach der ersten Schließung scheint mir allerdings dieser Schluß nicht ganz bindend zu seyn. F.

längerer Zeit noch völlig ungeändert bleiben und dort nichts weiter fahren lassen als eine anhaltende Gasentwickelung, die dagegen bei Zink und Messing nur in den ersten Augenblicken nach der Schließung vorhanden ist, später jedoch ganz aufhört.

Von der schlechten Leitungsfähigkeit des an Zink und Messing sich bildenden überzuges überzeugte sich Ohm durch directe Versuche; und der Umstand, daß der überzug in concentrirter Schwefelsäure unangegriffen bleibt, zeigt, daß das schwefelsaure Zink hierin unauflöslich ist, während es dagegen in wässeriger Schwefelsäure sich sofort auflöst; daher hier die unipolaren Erscheinungen nicht zu Stande kommen. Auch am Kupfer, wenn es den positiven Pol darstellt, bildet sich unter dem Einfluß der Kette durch die concentrirte Schwefelsäure ein schlechtleitender überzug, der zwar mit bloßem Auge nicht wohl wahrgenommen werden kann, indem das Metall vielmehr noch rein metallisch erscheint, aber unter der Lupe als eine glänzende farblose und durchsichtige Rinde sichtbar wird, und dessen schlechtes Leitungsvermögen dadurch erhellt, daß, wenn man der Schwefelsäure (nach eingetretener Veränderung des Kupfers) Quecksilber zur Schließung der Säule zwischen dem Kupfer substituirt, keine Wirkung auf den Multiplicator eintritt, die dagegen sofort erfolgt, wenn man das Kupfer mit dem Messer abschabt.

Unipolarität glühenden Platindrahts. Erman hat aus dem Umstande, daß, wenn man über die glühende Spirale einer aphlogistischen Lampe, die mit einem Goldblatt-Elektroskop in Verbindung steht, den negativen Pol einer trockenen Säule hält, Divergenz der Goldblätter erfolgt, nicht aber, wenn man den positiven Pol darüber hält, geschlossen, der glühende Platindraht besitze ein unipolares Leitungsvermögen für negative Elektricität. Diese Erklärung des Phänomens wird jedoch von Becquerel*) mit Gründen bestritten. In der That, wenn man einen Platindraht, der durch irgend ein anderes Verfahren als die Verbrennung von Alkoholdämpfen, die ihn noch umgeben, zum Glühen gebracht ist, den beiden Polen einer trockenen Säule darbietet, so leitet er die Elektricität beider Pole gleich gut. Becquerel macht die Erklärung vielmehr davon abhängig, daß der Draht, der in einer Atmosphäre verbrennenden Alkoholdampfs glüht, negativ, und diese Atmosphäre positiv elektrisch sey. (Wie es scheint, stellt er sich beide in einer Art gebundenem Zustande vor.) Bietet man nun dem negativen Pole eine trockene Säule dar, so soll hierdurch die positive Elektricität der Atmosphäre neutralisirt und die negative des Drahts frei werden, bietet man sie dagegen dem positiven Pole dar, so soll die Elektricität des Drahts neutralisirt und die der Atmosphäre frei werden.

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 283.

## III. Über trockene Säulen.

**Trockene Säulen mit verschiedenen organischen Substanzen.**

Kämtz *) hat in einer ausführlichen Abhandlung, von der wir uns begnügen, das wesentliche Resultat herauszuheben, nachgewiesen, daß sich wirksame trockene Säulen auch aus organischen Körpern, ohne alle Mitwirkung metallischer Körper, errichten lassen.

Zu diesem Zwecke bereitete er aus den organischen Körpern möglichst concentrirte Lösungen oder rührte sie mit Wasser zu einem dünnen Brei an. Diese Lösungen wurden dann vermittelst eines Pinsels wiederholt auf dünnes Papier (Conceptpapier) gestrichen, so daß dieses von einer Schicht desselben bedeckt wurde, welche nach dem Trocknen deutlich wahrzunehmen war. War das Papier trocken, so wurden aus demselben Scheiben geschnitten und diese zu einer Säule aufgebaut, so daß, da nur die eine Seite bestrichen war, zwei ungleichartige Schichten allemal durch 2 Papierdicken getrennt waren. Die Elektricität der Pole dieser Säulen ward an einem Bohnenbergerschen Elektrometer geprüft. Solchergestalt zeigten sich

| positiv. | | negativ. |
|---|---|---|
| Natron | gegen | Hammeltalg. |
| Hefen | — | Rohrzucker. |
| Hefen | — | Kochsalz. |
| Hefen | — | Milchzucker. |
| Leinöl | — | Zucker. |
| Leinöl | — | Weißes Wachs. |
| Stärkmehl | — | Gummi. |
| Gummi | — | Salep. |
| Gummi | — | Traganthschleim. |
| Gummi | — | Bärlappsaamen. |
| Eiweis | — | Gummi. |
| Eiweis | — | Ochsenblut. |
| Ochsenblut | — | Belladonnaextract. |
| Ochsenblut | — | Stärkmehl. |

**Über den Einfluß der Atmosphäre auf trockene Säulen** **). Die wesentlichsten Resultate aus einer Abhandlung Donné's über diesen Gegenstand, die indeß nicht zu dem Gediegensten gehört, was wir über diesen Gegenstand haben ***), sind folgende:

*) Schweigg. LVI. 1.

**) Ann. de Ch. et de Ph. XLII. 71. oder Schweigg. J. LVIII. 87.

***) Die meisten der Umstände, auf welche sich Donné's Arbeit bezieht, sind schon viel ausführlicher und sorgfältiger namentlich von Erman (Gilb. XXV, 18. 346), Parrot (ebend. LV. 163), Jäger (ebend. LII, 227), Schübler (Schweigg. Jahrb. VII. XV. XVI.) u. a. untersucht worden.

Eine trockene Säule, in den leeren Raum gebracht, deren einer Pol mit der Erde, der andre mit einem Elektrometer communicirt, besitzt die nämliche elektrische Spannung, als in der atmosphärischen Luft.

Die Wirkung der Temperatur auf die trockene Säule ist sehr complicirt. Fast stets steht ihre Spannung im Verhältnisse mit der Temperatur der Atmosphäre, indem sie mit der Wärme zu-, mit der Kälte abnimmt. Dieses Resultat ergiebt sich aus zahlreichen täglichen Beobachtungen, welche Donné zwei Jahre hindurch angestellt hat. Die Zunahme der Spannung hat jedoch nicht sofort Statt, wie die Temperatur steigt; manchmal zeigt sie sich erst, wenn das Thermometer wieder zu sinken anfängt, und der Grad der Spannung einer Säule hängt daher nicht allein von der bestehenden, sondern auch von der vorhergegangenen Temperatur ab. Es findet auch ein Unterschied Statt, je nachdem die Temperaturveränderungen plötzlich oder langsam und allmälig geschehen; während die Spannung durch erstere auf Null herabkommen kann, verliert sie durch letztere nur wenig Grade von ihrer Intensität.

Eine, einige Stunden hindurch über 20 bis 24° C. allmälig gesteigerte, Wärme erhöht die Spannung nicht merklich. Läßt man die Säule langsam erkalten, so verliert sie an Kraft, bis sie die Temperatur der ungeladenen Körper wieder angenommen hat; nach Verlauf von 24 Stunden ist sie auf denselben Punkt, als vor dem Versuche, zurückgekommen. Es scheint, nach Donné, daß die Wärme, außer ihrem Einfluß auf die chemischen Wirkungen, die in der Säule fortwährend vor sich gehen, auch durch mechanische Ausdehnung und Zusammenziehung der Theile auf die Spannung der Elektricität modificirend einwirkt. Bei Erwärmung der Säule nämlich dehnen sich im ersten Augenblicke die Säule und die Seidenfäden, durch die sie zusammengehalten wird, nicht gleich stark aus, und die Scheiben werden daher stärker gegen einander gepreßt, was die Intensität der Ladung vermehren muß, während das Erkalten einen umgekehrten Erfolg hervorruft. Es scheint, daß die Temperatur weniger durch Verminderung der Quantität der Elektricität, als durch Verlangsamung der Schnelligkeit ihrer Ladung wirkt.

Donné will die Thatsache beobachtet haben, daß eine an beiden Polen isolirte Säule keine Spannung an denselben besitze, wovon er den sehr unbestimmten Grund angiebt, daß sich die beiden Pole das Gleichgewicht halten. Es sollen nämlich zwei Goldblätter, an ein Ende einer trockenen Säule befestigt, bei sehr trockener Witterung keine Divergenz zeigen. Da diese Erfahrung, oder wenigstens das Resultat, was Donné daraus zieht, im Widerspruche mit anerkannten Thatsachen steht, so fordern die Commissarien der französischen Akademie mit Recht Herrn Donné zu einer Wiederholung und Abänderung seines Versuches auf.

Von dem ganz natürlichen Umstande, daß, wenn man in eine isolirte trockene Säule positive Maschinen-Elektricität am negativen Pol einströmen läßt, die Spannung des positiven Pols beträchtlich zunimmt, dagegen,

wenn man sie am positiven Pol einströmen läßt, die Spannung am negativen Pole auf Null reducirt wird, glaubt Donné eine Anwendung machen zu können zur Erforschung der Elektricität der Atmosphäre, oder der entgegengesetzten Elektricität, die sich auf einem Theile des Erdkörpers, unter dem Einfluße einer Gewitterwolke, findet. Da nämlich die Säulen in der Regel in verticaler Stellung, so daß ihr unterer Theil mit dem Erdboden in Verbindung ist, stehen, so können sie nur von unten Elektricität empfangen, und wenn die Erde solche darbietet, so muß ihre Spannung dadurch modificirt werden. Donné suchte sie in der That aufzusammeln und fand, daß ein sehr empfindliches, auf gehörige Weise mit dem Erdboden in Verbindung gesetztes, Elektrometer unzweideutige Zeichen von Elektricität gab *).

Donné hat endlich gefunden, daß das Licht ohne Wirkung auf die trockenen Säulen ist, und daß sich selbst durch einen Kreis (chapelet) von 50 Säulen, jede zu 1000 Scheiben, keine chemischen Wirkungen hervorbringen lassen.

Daß es Andern als Becquerel gelungen ist, chemische Versuche durch Zambonische Säulen hervorzubringen, ist bekannt und erhellt u. a. auch aus dem folgenden Artikel.

Strömungswirkungen trockener Säulen. Eine Notiz im Journ. de chim. méd. VI. 476. enthält Folgendes: Nach Peltier's Untersuchungen geben trockene Säulen von 25 bis 50 einzölligen Elementen das Maximum der Ablenkung am Galvanometer, welches 15° bis 24° je nach dem Alter der Säulen betrug. Bei 200 Elementen betrug die Ablenkung kaum 3° bis 4°; bei 600 bis 1000 Elementen findet blos mitunter merkliche Wirkung Statt (il n'y a sensibilité, que par intermittence). Wurden dagegen die gleichnamigen Pole mehrerer trockenen Säulen vereinigt, so wurde Lackmustinktur geröthet und salpetersaures Kupfer reducirt, wenn 30 funfzigpaarige Säulen vereinigt waren und die Ablenkung der Magnetnadel nahm mit der Zahl der so verbundenen Säulen zu. Mit einer Säule von 40 Elementen von 6 Quadratzoll wurde Lackmustinktur binnen 3 Stunden geröthet und die Nadel des Galvanometers wich um 80° aus. Die Beschaffenheit der gebrauchten trockenen Säulen ist übrigens nicht näher angegeben.

Der Umstand, der aus diesen Versuchen hervorgeht, daß Verbindung der Pole mehrerer gleichnamigen Säulen die Wirkung vorzugsweise verstärkt, ist ganz in Übereinstimmung mit der Theorie; dagegen der Umstand, daß Vermehrung der Zahl der Elemente über eine gewisse Gränze hinaus die Wirkung schwächen soll, nicht damit vereinbar ist, indem nach der Theorie vielmehr bei successiver Vermehrung der Zahl der Elemente eine, bei trockenen Säulen sehr bald zu erreichende, Gränze eintreten muß, nach welcher weitere Vermehrung der Zahl der Elemente die Wirkung weder verstärkt noch schwächt. Das Resultat der Peltier'schen Versuche wird indeß erklärlich,

*) Dieser Versuch ist nicht näher beschrieben. F.

wenn man annimmt, daß unter den Säulen, deren ungleichnamige Pole verbunden wurden, um eine vermehrte Zahl der Elemente hervorzubringen, solche waren, welche an sich eine sehr geringe Wirkung gaben. Aus Mangel genauerer Angaben läßt sich hierüber nichts entscheiden.

**Pendelbewegungen durch trockene Säulen.** Zamboni hat neuerdings *) eine Vorrichtung angegeben und abgebildet, bei welcher das Secundenpendel einer Uhr durch Zambonische Säulen in beständiger Bewegung erhalten wird. Da das Princip, worauf solche Vorrichtungen beruhen, bekannt ist, eine wirklich praktische Anwendbarkeit davon aber aus mehr als einem Grunde nicht zu erwarten steht, so verweisen wir hinsichtlich derselben auf die Originalabhandlung.

---

## IV. Verschiedene galvanische Apparate und Mittel zu Versuchen.

---

### Galvanische Apparate mit flüssigen Metallen, von Kemp **).

Kemp hat vier verschiedene galvanische Apparate beschrieben, worin Quecksilber oder Quecksilberamalgam als einer der Erreger wirkt. Sie sind jedenfalls interessant und der zweite derselben scheint selbst in mehrern Hinsichten vortheilhaft zu sein. Im ersten dieser Apparate dient Zink als positiver, Quecksilber als negativer Leiter; im zweiten Zinkamalgam als positiver, Kupfer als negativer Leiter; im dritten und vierten Zinkamalgam als positiver, Quecksilber als negativer Leiter.

**Apparat mit Quecksilber als negativem, Zink als positivem Metall.** A B, C D Fig. 55. stellt eine runde hölzerne Schale von $\frac{1}{2}$ Zoll Tiefe und 3 Zoll Durchmesser vor, mit einem überspringenden Rande A B. E F ist eine runde convexe Zinkplatte, im Abstande von $\frac{3}{4}$ Zoll, durch einen Kupfer- oder Zink-Draht mit der Schale so verbunden, daß das eine Ende des Drahtes durch den Boden der Schale dringt und inwendig $\frac{1}{8}$ Zoll vorragt. Der ganze Verband wird alsdann durch einen Wachsüberzug wasserdicht gemacht, wobei man jedoch darauf sieht, daß die vorragende Drahtspitze ganz frei von Wachs bleibt.

Eine Quantität Quecksilber, gerade hinreichend den Boden zu bedecken, wird alsdann in die Schale geschüttet, welche durch den Draht mit der Zinkplatte E F in Verbindung steht. Auf dieses Quecksilber wird sehr verdünnte Salzsäure geschüttet, so daß die Schale davon beinahe gefüllt wird. Auf diese Weise hat man einen vollständigen Elektromotor, welcher aus Zink, Quecksilber und Säure besteht.

*) Bibl. univ. 1831. Juin. p. 183.

**) Jameson's Edinb. N. phil. J. 1828. Oct. — 1829. March. p. 70. oder Laboratorium. Weimar. Heft 22. Taf. XC.

Solche Elektromotore läßt man mehrere verfertigen und setzt sie, nachdem man das Quecksilber und die Säure eingetragen hat, über einander, um dadurch eine Säule zu construiren, wie Fig. 56. zeigt. Die Zinkplatte der einen Schale wird dann mit der Säure der unmittelbar unter ihr stehenden Schale in Verbindung sein*), und die Schale selbst ruht in einer kleinen Falze, welche ringsum am untern Theile des Randes angebracht ist. Auf diese Weise kann man eine beliebige Anzahl von Elektromotoren über einander bauen und, wenn es sich nöthig macht, vermittelst Glasstäbchen, welche in die Basis eingefügt werden, an ihrer gehörigen Stelle erhalten. Dies ist indessen nur dann nöthig, wenn die Säule von geringem Durchmesser ist; denn bei einer Säule von größerm Durchmesser kann man eine hinlängliche Menge von Schalen aufschichten, auch wohl zwei oder mehrere Säulen herstellen und sie auf die gewöhnliche Weise mit einander verbinden.

Um nun mit diesem Apparate zu experimentiren, ist eine kleine messingene Röhre G, in die Basis eingesetzt, so daß sie mit dem Quecksilber in der untersten Schale in Verbindung steht. In diese Röhre wird der Schließungsdraht eingesetzt. Eine andere solche Röhre ist in das Kopfstück oder in die oberste Schale der Säule eingesetzt, in welche man ebenfalls einen Draht einführt, um so die galvanische Kette schließen zu können.

Die Zinkplatte ist deshalb convex gemacht, damit das an seiner untern Fläche gebildete Wasserstoffgas entweichen könne, weil es sich sonst in Form einer Blase sammeln und die Säure verdrängen würde. Der Zweck des überspringenden Randes an den Schalen ist auf Verhütung des Überlaufens berechnet, so wie, um eine Communication zwischen den verschiedenen Theilen der Säule zu verhüten, wodurch ihre Thätigkeit aufgehoben werden würde **).

2) **Apparat mit Zinkamalgam als positivem, Kupfer als negativem Metall.** Die Anordnung dieses Apparates, der sich vorzüglich durch seine andauernde Wirksamkeit und starke Verbrennungsthätigkeit auszeichnen soll, stimmt im Allgemeinen mit der des vorigen überein. Es stellt nämlich AB, CD Fig. 55. wiederum eine runde hölzerne Schale von ½ Zoll Tiefe und 3 Zoll Durchmesser, mit dem vorspringenden Rande AB, vor. H ist ein kleiner hölzerner Knopf, im Mittelpuncte des Bodens an die Schale gedreht, der 1½ Zoll nach niederwärts vorragt.

EF ist eine runde Kupferplatte, mittelst eines kupfernen Drahtes, an welchen ein Schraubengang geschnitten ist, an die Schale befestigt. Der Draht läuft durch die Schale und schraubt sich in die messingene Nuß J, Fig. 57., welche inwendig in die Schale eingelassen ist. Der hölzerne Knopf bewirkt, daß die Kupferplatte in ihrem gehörigen Abstande erhalten werde.

*) Es ist mir aus dieser Beschreibung nicht deutlich, wie jede Zinkplatte in der unterstehenden Schale unterstützt gehalten wird, um nicht mit deren Zinkspitzen in Berührung zu kommen. F.

**) Dies erhellt wenigstens nicht aus Fig. 56. F.

Alles ist luftdicht mittelst eines Wachsüberzuges verwahrt, und man hat Sorge getragen, die Nuß und die vorragende Drahtspitze frei von Wachs zu erhalten.

Die Kupferplatte EF, Fig. 58., ist mit Löchern durchbohrt, damit das Wasserstoffgas, sobald es sich an der Oberfläche des Zinks und des Quecksilbers gebildet hat, Durchgang finden und entweichen könne, indem es sich sonst als eine Blase an der untern Fläche der Kupferplatte sammeln, das Wasser über den Rand der Schalen treiben und die Wirkung der Säule vernichten würde. Eine Platte von Drahtnetz oder auch aus spiralförmig gewickeltem Kupferdraht würde eben so zweckmäßig sein, indem das Wasserstoffgas bequem durch die Zwischenräume dringen und diese Platte zugleich eine treffliche Oberfläche zur Leitung des Fluidums abgeben könnte.

Eine Quantität des flüssigen Amalgam's aus Zink und Quecksilber, bloß ausreichend, um den Boden zu bedecken, wird in die Schale geschüttet und steht nun mit der Kupferplatte EF durch die Schraubenmutter und den Draht in Verbindung. Auf dieses Amalgam wird so viel verdünnte Salzsäure geschüttet, daß sie beinahe die Schale füllt. Auf diese Weise hat man einen vollständigen Elektromotor hergestellt, zusammengesetzt aus Kupfer, dem erwähnten Amalgam und Säure, und indem man diese Reihe fortsetzt, kann man sie bis zu jeder Gränze vergrößern.

Bei dieser Anordnung wird das erwähnte Amalgam zur positiven Platte, während das Kupfer die negative abgiebt.

Will man mit diesem Apparate Versuche anstellen, so bringt man das Amalgam auf die beschriebene Weise in die Schalen, setzt letztere, wie in Fig. 56., übereinander, und die unterste Platte wird dann der negative und die oberste der positive Pol. Die Kette wird auf dieselbe Weise geschlossen, wie schon bei der vorigen Säule angegeben worden ist.

Das Amalgam, welches als das positive Metall bei dieser Anordnung angewendet wird, läßt sich leicht herstellen, und die Zubereitung nimmt nur wenige Minuten in Anspruch. Man thut eine Quantität Zinkbruchstücke in einen Schmelztiegel und gießt über dieselben ihr 4- oder 5faches Gewicht Quecksilber, alsdann bringt man den Schmelztiegel in ein gewöhnliches Feuer, und wenn das Quecksilber seinen Siedepunct erreicht, wird das Zink vollständig aufgelöst sein. Dieser Composition kann man, so lange sie warm ist, noch eine Quantität Quecksilber zusetzen, und sie wird sich mit ihr ganz auf dieselbe Weise verbinden, als ob sie im Schmelztiegel mit erhitzt worden wäre. Wenn das Amalgam einmal zubereitet worden ist, kann man so lange davon Gebrauch machen, als nur noch Zink in der Auflösung bleibt, und da die Quantität Zink, welche bei jedem Versuche von der Säure aufgelöst wird, sehr klein ist, so kann dasselbe Amalgam eine ziemlich lange Zeit hindurch gebraucht werden, nämlich so lange, als noch ein Theilchen Zink mit dem Quecksilber in Verbindung sich befindet. Nachdem alles Zink von der Säure aufgelöst worden ist, bleibt das Quecksilber

ganz rein zurück, ohne daß die geringste Verminderung Statt gefunden hat, denn nur das Zink allein wird angegriffen. Ist alles Zink aus dem Quecksilber verschwunden, so nimmt man eine neue Amalgamirung vor.

Nachdem das Amalgam bereitet ist, kann man es auf jede Zeitlänge in Gefäßen verwahren, bei welchen die Einwirkung der Atmosphäre ausgeschlossen wird. Aus diesen schüttet man es, sobald man es brauchen will, in die bezeichneten Schalen.

3) Apparate aus Zinkamalgam als positivem, Quecksilber als negativem Leiter. Die Wirksamkeit dieser Apparate scheint nicht ausgezeichnet zu sein, doch sind sie als Beispiel von Säulen, wo beide heterogene Metalle flüssig sind, immer erwähnenswerth.

a) AB, Fig. 59., ist ein hölzerner Trog, 18 Zoll lang, $4\frac{1}{2}$ Zoll breit und etwa 2 Zoll tief, in 18 Zellen durch gläserne Scheidewände getheilt, und zwar so, daß die Scheidewände aaa... bloß $\frac{1}{2}$ Zoll hoch sind, die damit abwechselnden Scheidewände bbb... aber fast so hoch als der Trog tief sind. In die erste Zelle wird reines Quecksilber, bloß so viel, um den Boden zu bedecken, in die zweite Zelle eben so viel flüssiges Zinkamalgam, in die dritte wieder reines Quecksilber, in die vierte Zinkamalgam u. s. f. abwechselnd gegossen. Bögen aus Kupferdraht cc, cc, welche über die höheren Scheidewände hinweggehen, verbinden das Quecksilber und das Amalgam der ersten und zweiten, dritten und vierten Zelle u. s. f. Endlich gießt man in sämmtliche Zellen verdünnte Salzsäure, so daß es fast die Höhe der höheren Scheidewände erreicht. Zwischen den äußersten Zellen wird auf gewöhnliche Weise die Schließung bewirkt.

Es lassen sich mit diesem Apparate alle Wirkungen der Säule hervorbringen, doch ist seine Wirkung nicht ausgezeichnet.

b) Kemp beschreibt noch eine Modification des vorigen Apparates, die im Wesentlichen darin besteht, daß die verbindenden Kupferbögen durch Heberröhren, welche mit Quecksilber gefüllt werden, ersetzt sind, so daß die Gegenwart eines festen Metalls hier ganz ausgeschlossen bleibt. Diese Heberröhren gehen nicht, wie bei der vorigen Anordnung, über die Scheidewände hinweg, sondern münden, was mehr Bequemlichkeit gewährt, unten in die Zellen ein, so daß der Bogen abwärts gekehrt ist.

Albert's galvanischer Apparat. Dieser, namentlich zu elektromagnetischen Wirkungen bestimmte Apparat, bestehend in einer einfachen Kette aus zwei concentrischen Kupfer- und Zink-Cylindern, bietet bloß in den Nebenvorrichtungen, welche bei der Schließung angewandt werden, einige Eigenthümlichkeiten dar, welche bezwecken, alle Vorkehrungen zu den anzustellenden Versuchen und Herstellung von Communicationen eher zu bewirken, als man die Schließung selbst vornimmt, damit der Apparat mit ungeschwächter Wirksamkeit in den Versuch eintrete. Diese Eigenthümlichkeiten scheinen mir nicht wichtig oder nothwendig genug, um die nähere

Beschreibung und Abbildung des Apparats, die sich in den Mechanics Mag. Nr. 411. oder Dingler's polyt. Journ. XLI. 297 findet, hier mitzutheilen.

Mittel, die Stärke und Wirkungsdauer galvanischer Ketten bedeutend zu verstärken. Dies von mir aufgefundene Mittel besteht darin, daß man die Kupferplatten auf der einen Fläche mit Salmiaklösung überstreicht und ein paar Stunden liegen läßt, wo die Lösung eintrocknet und einen grünen Überzug auf dem Kupfer bildet. Man combinirt hierauf diese Kupferplatten auf gewöhnliche Weise mit Zink oder Zinn, so daß die überzogene Fläche dem heterogenen Metall in der Flüssigkeit zugekehrt ist. In Schweigg. J. LVII. 4 findet man mehrere Versuche, welche die sehr bedeutende Verstärkung, die man solchergestalt erhält, beweisen.

Vorbereitung der Kohle zu galvanischen Versuchen. Kastner*) empfiehlt folgende Vorbereitung der Kohle zu galvanischen Versuchen. Man hält Stäbchen von Lindenholz unter geschmolzenes und bis zum Sieden erhitztes Blei mittelst eines eisernen Hakens so lange, bis keine Spur von Holzrauch und entzündlichen Gasen mehr entweicht, wickelt sie dann, herausgenommen, in Blattplatin ein und erhält die Stelle über der Alkoholflamme $\frac{1}{2}$ Stunde lang hellrothglühend. Die Stäbchen erscheinen nun in solchem Maße wirksam, daß sie z. B. in einfachen Ketten Kupfer fast so gut fällen, als Platin selbst.

---

## V. Über das Maß der Wirkungen geschlossener galvanischer Ketten.

Man hat bis jetzt zwei, und meiner Ansicht nach nur zwei, Methoden, die Kraft der geschlossenen galvanischen Ketten auf genaue und in einigem Umfange anwendbare Weise zu messen. Die erste ist die, wie es scheint, in diesem Bezuge zuerst von Ohm angewandte, Methode der Drehwage (Schweigg. XLVI. 145), von der wir, da ihre Anwendung schon vor den von mir behandeltem Zeitraum fällt, nicht weiter sprechen; die zweite die zuerst von Biot angewandte (Biot Lehrb. IV. 170) und von mir selbst weiter ausgebildete und für die verschiedenen zu messenden Umstände der Kette besonders angepaßte Methode der Oscillationen. Das Wesentliche dieser letztern Methode mag hier kurz angegeben werden.

Wenn eine horizontale, frei aufgehangene Magnetnadel, die sich in der Richtung des magnetischen Meridians befindet, daraus auf irgend eine Weise abgelenkt, und dann der Wirkung der Kräfte, die sie in ihre Richtung zurückzuführen streben, wieder überlassen wird, so kehrt sie nach der Erfahrung durch eine Reihe von Oscillationen darein zurück. Nun wird

*) Kastn. Arch. XVI. 166.

in der Lehre von den Parallelkräften und dem Magnetismus gezeigt, daß die Kraft, welche die Nadel in die Lage ihres Gleichgewichtes zurückzuführen strebt, proportional ist dem Quadrat der Geschwindigkeit dieser Schwingungen, d. h. mit anderen Worten, dem Quadrat der Anzahl von Schwingungen, welche von derselben Nadel in derselben Zeit vollbracht werden, oder, was dasselbe ist, umgekehrt proportional dem Quadrate der Anzahl Zeittheile, welche zur Vollbringung derselben Anzahl Schwingungen erforderlich sind.

Um hiervon die Anwendung auf unsern Fall zu machen, lasse man die im Multiplicator (oder einfachen Schließungsbogen) befindliche Nadel (die wir zuvörderst für eine einfache nehmen wollen), nachdem man die Windungen des Multiplicators senkrecht auf sie oder vielmehr so gestellt, daß ein durch die Windungen hindurchgehender Strom der Nadel keine Ablenkung einzupflanzen vermag, erst allein durch den Einfluß der magnetischen Erdkraft oscilliren — zu welchem Zwecke man sie nicht durch Anstoß, sondern durch ein Eisen- oder schwaches Magnetstäbchen aus ihrer Richtung abzulenken hat —, und zähle nach dem Schlage einer genauen Uhr oder eines Pendels die Anzahl Zeittheile, die sie braucht, eine gewisse Anzahl Oscillationen zu vollbringen; indem man sich innerhalb der Grenzen von so kleinen Weiten der Schwingungen hält, als sich mit einem merklichen Isochronismus derselben noch verträgt. Durch diese erste Zählung erhält man das Maß der Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf die Nadel wirkt.

Man zähle jetzt, wie vorhin, die Anzahl Zeittheile, welche die Nadel braucht, um unter dem vereinigten Einflusse der Erdkraft und Kraft des Stromes dieselbe Zahl Schwingungen zu vollbringen, als vorher unter dem Einflusse der Erde allein; so wird man das Maß für die Summe der Kraft erhalten, mit welcher die Erde und mit welcher der Strom auf die Nadel wirkt; und zieht man von dieser Kraft die durch den vorhergegangenen Versuch gefundene Kraft der Erde ab, so erhält man dadurch das Maß der Kraft, mit welcher der Strom allein auf die Nadel wirkt.

Um dies an einem Beispiele zu verdeutlichen, wollen wir annehmen, die Magnetnadel brauche zur Vollendung von 20 Oscillationen unter dem Einflusse der Erdkraft allein 100 Zeittheile, so erhalten wir dadurch als Maß der Erdkraft die Zahl $\frac{1}{10000}$ oder 0,0001, weil 10000 das Quadrat von 100 ist und die Kraft sich diesem Quadrat umgekehrt proportional verhält.

Gesetzt nun, die Nadel brauche unter dem vereinigten Einfluße des Stromes irgend einer Kette und der Erdkraft bei oben getroffener Anordnung bloß 50 Zeittheile zu 20 Oscillationen, so wird das Maß für die Summe beider Kräfte sein $\frac{1}{2500}$ oder 0,0004; mithin wenn man das erstgefundene Maß vom letztgefundenen abzieht, so erhält man für das Maß der Kraft des Stromes allein $\frac{1}{2500} - \frac{1}{10000}$ oder 0,0004 — 0,0001, d. i. 0,0003. Mithin verhält sich in diesem Falle die Kraft, mit der der Strom

allein, nach Abzug der Erdkraft, auf die Nadel wirkt, zur Kraft, mit der die Erde auf die Nadel wirkt, wie 3 : 1.

Gesetzt jetzt, die Nadel brauche unter dem Einflusse eines andern Stromes 30 Zeittheile zu 20 Oscillationen, so ist das Maß für die Kraft des Stromes allein $\frac{1}{900} - \frac{1}{10000}$, d. i. 0,00101; mithin verhält sich die Kraft dieses zweiten Stromes zur Kraft des ersten wie 10,1 zu 3.

Zweckmäßig ist es, in jedem Falle die Kraft der Erde als Einheit zu Grunde zu legen, und hiermit dann alle verschiedene Stromkräfte zu vergleichen. Man erleichtert sich diese Berechnung durch die untenstehende Formel *).

Die jetzige Berechnungsart galt für den Fall, wo die Kraft der Erde und die Kraft des Stromes die Pole der Nadel nach derselben Seite des Schließungsdrahtes zu drehen und in dieser Lage zu erhalten streben. Bei einer entgegengesetzten Richtung des Stromes würde die Zahl Zeittheile, die man unter dem vereinigten Einflusse der Erdkraft und des Stromes zu einer gewissen Anzahl Oscillationen erforderlich findet, nicht mehr der Summe, sondern der Differenz beider Kräfte, das heißt der Kraft des Stromes weniger der Erdkraft, entsprechen; man müßte daher bei einer solchen Anordnung der Nadel die durch den ersten Versuch gefundene Kraft der Erde zu der durch den zweiten Versuch gefundenen Kraft addiren, um das richtige Maß der Kraft des Stromes allein zu haben. Indeß ist es im Allgemeinen vortheilhafter, die Anordnung nach der ersten Weise zu treffen, was man immer in seiner Gewalt hat **).

*) Die Anzahl Zeittheile, welche die Nadel zur Vollbringung einer gewissen Anzahl Schwingungen unter dem bloßen Einfluße der Erdkraft braucht, heiße N, die Zahl Zeittheile, die sie unter dem vereinigten Einfluße der Erdkraft und des Stromes braucht, heiße N'; dann ist das Maß der Kraft des Stromes:

$$\frac{1}{N'^2} - \frac{1}{N^2} = \frac{N^2 - N'^2}{N^2\, N'^2}$$

oder, wenn man die Kraft der Erde als Einheit setzt:

$$= \frac{N^2 - N'^2}{N'^2}$$

Letztere Formel ist zur Anwendung die bequemste.

**) Man könnte, anstatt die Zahl Zeittheile zu messen, welche zu einer gewissen Zahl Oscillationen erforderlich sind, auch die Oscillationen zählen, die in einer gewissen Zeit, erst unter dem Einfluße der Erde allein, dann unter dem vereinigten Einfluße der Erde und des Stromes vollbracht werden, und das Quadrat ersterer Zahl vom Quadrat letzterer abziehen, im Fall beide Kräfte die Nadel nach derselben Seite vom Schließungsdrahte zu kehren streben, oder zu ihm hinzuaddiren, im Fall sie sich entgegenwirken, um so das Maß der Kraft des Stromes allein zu erhalten. Allein bei geringen Stromkräften, wo die Oscillationen sich verlangsamen, verliert dies Verfahren alle Präcision, weil man dann bei derselben Anzahl Zeittheile immer auf Bruchtheile von Schwingungen kommt, die von größerm Einfluße werden als bei dem obigen Verfahren, weil sich nicht so viel Schwingungen als Zeittheile als Maß zu Grunde legen lassen.

Es ist bei diesen Verfahrungsarten an sich gleichgültig, welche Anzahl von Oscillationen man bei der Beobachtung zu Grunde legt, wofern nur immer bei allen successiven Beobachtungen dieselbe Anzahl wieder zu Grunde gelegt wird. Begreiflich aber wird eine um so größere Genauigkeit in der Bestimmung möglich werden, je größer man diese Anzahl nimmt; weil solchergestalt Unsicherheiten in Bezug auf die genaue Schätzung von Bruchtheilen der Zeittheile, die in der Regel auf den Anfang und das Ende der Zählung fallen, immer mehr in Verhältniß zur Gesammtzahl der beobachteten Zeittheile an Einfluß verlieren. Indeß kann man doch diese Anzahl von Oscillationen nicht zu groß nehmen, weil dies erfodern würde, die Nadel um weitere Bogen aus der Lage ihres Gleichgewichtes abzulenken, als sich mit dem Isochronismus ihrer Schwingungen verträgt. Auch muß man in der Regel, wenn man die Kraft einer Kette zu Anfange ihrer Wirksamkeit messen will, eine geringere Anzahl Oscillationen wählen, weil hier eine, meist innerhalb der ersten Minute nicht einmal zu vernachlässigende, Abnahme der Wirkung Statt findet, zu Folge deren man ein schwächeres Resultat für die anfängliche Kraft der Kette finden würde, als ihr eigentlich zukommt, wenn man die Bestimmung dieser Kraft aus einer größern Anzahl von Oscillationen ableiten wollte.

Alle Bestimmungen über das vorige Verfahren, welche wir in Bezug auf eine einfache Magnetnadel gegeben haben, lassen sich auch auf ein System zweier entgegengesetzt gerichteten Nadeln, wie es die Nobili'sche Doppelnadel darstellt, anwenden, und die Berechnung wird hierbei ganz nach der nämlichen Weise geführt, nur daß hier als Einheit der Kraft, mit der alle verschiedene Stromkräfte verglichen werden, nicht mehr die Kraft, mit der die Erde auf jede einzelne Nadel für sich, sondern mit der sie auf das System beider wirkt, d. i. die Differenz ihrer Kräfte auf beide Nadeln, zu Grunde liegt. Solchergestalt erhält man für die Größen des Stromes bei Anwendung der Doppelnadel absolut größere Werthe, als man bei einer einfachen Nadel erhalten haben würde; aber diese Größen behalten dieselben Verhältnisse zu einander, wofern man sich immer derselben Doppelnadel bedient.

Bei Anwendung eines Multiplicators mit einer Doppelnadel nun wird man in dem hier beschriebenen Verfahren ein Mittel zur Messung finden, welches mit der größten Empfindlichkeit die größte Zuverlässigkeit und Leichtigkeit der Anwendung verbindet; denn man bedarf dazu keines besonders construirten, sondern nur eines gewöhnlichen, gleichförmig gewundenen, Multiplicators, einer feinen Aufhängung der Magnetnadel und eines richtigen Zeitmessers. Seine Anwendbarkeit erstreckt sich von den höchsten zu den schwächsten Graden der Wirkung der Kette, und die leiseste Veränderung in der Kraft derselben giebt sich sofort durch eine merkbare Veränderung in der Schnelligkeit der Oscillationen zu erkennen.

Es muß ausdrücklich erwähnt werden, daß, wenn man von diesem hier angegebenen Verfahren genaue und zuverlässige Resultate erwarten will,

bei der Anwendung desselben noch eine Menge Vorsichtsmaßregeln und Rücksichten zu beobachten sind, die zum Theil die nähere Ausführung des Meßverfahrens selbst betreffen, zum Theil darauf hinausgehen, sich von dem veränderlichen Zustande der Ketten, deren Wirkung man messen will, unabhängig zu machen. Ich habe diese Vorsichtsmaßregeln, zu deren Kenntniß mich eine anhaltende Beschäftigung mit diesem Gegenstande geführt hat, in meinem Lehrbuche des Galvanismus S. 152 ff. und noch ausführlicher in meinen Maßbestimmungen über die galvanische Kette Seite 9 ff. sorgfältig angegeben; auch in letzterm Werke S. 18 ff. die bei messenden Versuchen zu treffenden Anordnungsarten der Ketten beschrieben. Ich begnüge mich hierauf zu verweisen, da diese Umstände nur für die von Wichtigkeit sind, die sich selbst mit solchen Versuchen beschäftigen wollen, ich aber wohl voraussetzen darf, daß diese sich im Besitz meines Werkes über diesen Gegenstand befinden werden.

Eine Einrichtung eines neuen vergleichbaren Galvanometers zur Messung elektrischer Ströme von Nobili findet sich beschrieben in den Ann. de Ch. et de Ph. XLIII. 146, oder Pogg. XX. 213 oder Baumg. VIII. 70. Sie scheint mir jedoch so umständlich und in manchen Stücken precär, daß ich nicht glaube, daß jemand, der die (Nobili'n wie es scheint ganz unbekannten) Methoden der Drehwage und Oscillationen, die so wenig zu wünschen übrig lassen, kennt, sich zu Nobili's Methode entschließen dürfte. Da auch ihre Erörterung nicht ohne Umständlichkeit geschehen könnte, so übergehe ich sie.

---

## VI. Über die Umstände, durch welche die Stärke und Dauer der Kraft geschlossener galvanischer Ketten bestimmt wird.

---

Über diesen Gegenstand habe ich selbst sehr ausführliche Untersuchungen angestellt, die ich in einer besondern Schrift: Maßbestimmungen über die galvanische Kette 1831. bekannt gemacht habe. Der Umfang der daselbst mitgetheilten Versuche erlaubt mir nur einen sehr kurzen Auszug der Resultate daraus, den ich hier vorlegen werde, unter Beifügung dessen, was auch von Anderen neuerdings in diesen Beziehungen geleistet worden ist.

### A. Über das Grundgesetz der geschlossenen Kette.

Die Kraft geschlossener galvanischer Ketten hängt nicht bloß von der Stärke der durch wechselseitige Berührung der Metalle erzeugten Elektricität, wie sie sich im ungeschlossenen Zustande äußert, ab, sondern auch von der größern oder geringern Schwierigkeit, welche diese Elektricität beim Durchgange durch die verschiedenen Leiter, die sie auf ihrem Wege zu

durchlaufen hat, findet, woher es rührt, daß Säulen, welche in ungeschlossenem Zustande eine sehr starke Intensität der Elektricität für das Elektrometer zeigen, doch sehr schwache Strömungswirkungen hervorbringen, wenn der flüssige Leiter in ihnen ein sehr schlechtes Leitungsvermögen besitzt *). Es sind sonach zwei Elemente in der geschlossenen Kette zu betrachten, von welchen die Stärke der Strömung abhängt: 1) die elektromotorische Kraft, d. i. die Stärke oder Intensität der Elektricität, welche die Kette in ungeschlossenem Zustande zeigt; 2) der Leitungswiderstand, den die Elektricität beim Hindurchgehen durch die verschiedenen Theile der Kette erfährt, und der im umgekehrten Verhältnisse dessen steht, was man gewöhnlich Leitungsvermögen der Körper zu nennen pflegt, so daß ein Körper einen doppelten Leitungswiderstand äußert, wofern sein Leitungsvermögen nur halb so gut ist, als das eines andern. Die Ausdrücke elektromotorische Kraft und Leitungswiderstand werden hiernach hinreichend bestimmt sein.

Es fragt sich nun, auf welche Weise die elektromotorische Kraft und der Leitungswiderstand der in der Kette vorhandenen Theile zusammenwirken, die Stärke der Strömung zu bestimmen. Ohm hat in dieser Hinsicht auf theoretischem Wege folgendes Gesetz abgeleitet, was ich durch sehr ausführliche Versuche, die sich in meinen Maßbestimmungen über die galvanische Kette finden, durchgehends bestätigt gefunden habe.

Die Kraft der galvanischen Kette ist direct proportional der gesammten elektromotorischen Kraft, die in der Kette wirksam ist, umgekehrt proportional dem gesammten Leitungswiderstande, der sich in ihr findet; oder, was dasselbe sagt, sie ist proportional der gesammten elektromotorische Kraft, dividirt durch den gesammten Leitungswiderstand.

Die gesammte elektromotorische Kraft steht wie bekannt im geraden Verhältnisse der Anzahl der Plattenpaare der Kette und der Intensität, die jedes einzelne Plattenpaar im ungeschlossenen Zustande besitzt, oder sie ist gleich dem Producte aus der Zahl der Plattenpaare in die Intensität jedes einzelnen Paars. Der gesammte Leitungswiderstand aber besteht aus der Summe der einzelnen Widerstände, welche die Theile, die der Strom zu durchlaufen hat, dem Strom entgegensetzen. Er läßt sich zusammengesetzt betrachten namentlich aus drei partiellen Widerständen: 1) dem Widerstande der festen Leiter, 2) dem Widerstande der flüssigen Leiter, 3) einem noch weiterhin näher zu erörternden eigen-

*) Man kann unter Voraussetzung, daß die Elektricität durch ein strömendes Fluidum repräsentirt wird, wohl nicht ohne Fug annehmen, daß die Magnetnadel stets eine gleiche Wirkung von einem Leiter erfahren wird, wenn in gleicher Zeit gleich viel Elektricität durch denselben (in gleicher Entfernung) bei ihr vorübergeht. Diese Quantität wird begreiflich eben so wohl von der Intensität als Schnelligkeit der strömenden Elektricität abhängen.

thümlichen Widerstande, der in der Angränzung der festen an die flüssigen Leiter seinen Sitz, und vielleicht in einer Schwierigkeit des Überganges der Elektricität zwischen beiden seinen Grund hat, und den ich deshalb Widerstand des Überganges nenne.

Der Leitungswiderstand der Theile hängt bekanntlich nicht allein von ihrer Materie, sondern auch von ihren Dimensionen ab; denn schon durch frühere Versuche ist bekannt, daß z. B. ein Draht von der doppelten Länge einen doppelt so großen Leitungswiderstand äußert (oder wie man es gewöhnlich ausdrückt, ein halb so großes Leitungsvermögen besitzt) als ein Draht von der einfachen Länge.

Wenn wir nun sagen, der gesammte Leitungswiderstand der Kette bestehe aus der Summe der Widerstände der einzelnen Theile, so sind diese Widerstände nicht allein, in so fern sie von der Materie des Körpers abhängen, in Betracht zu ziehen, sondern auch in so fern sie von den Dimensionen abhängen, so daß z. B. wenn die Flüssigkeit, womit die Kette geschlossen ist, bei gleichen Dimensionen 1000 Mal schlechter leiten würde als der Schließungsdraht, doch der Theil, den sie zum Gesammtwiderstand hergiebt, nicht größer als der sein kann, den der Schließungsdraht hergiebt, wofern die Kürze und Dicke der vom elektr. Strome in der Flüssigkeit zu durchlaufenden Strecke im Verhältniß zur Länge und Dünne des Schließungsdrahtes die Größe dieses von der Materie abhängigen Widerstandes compensirt.

Das ausgesprochene Gesetz kann allseitig nur durch seinen Verfolg in das Detail der Erscheinungen bewährt werden, was von mir in meinen Maßbestimmungen der galvanischen Kette geschehen ist; hier genüge es, zur Erläuterung desselben einige allgemeine Folgerungen daraus in Betracht zu ziehen und auf deren Übereinstimmung mit der Erfahrung hinzuweisen:

a) Wird der Leitungswiderstand irgend eines Theiles der Kette vermehrt oder vermindert, so nimmt die Kraft der Kette nur nach dem Verhältnisse ab oder zu, in welchem dieser Theil des Leitungswiderstandes zum ganzen Leitungswiderstande beiträgt. Wenn daher z. B. die Länge und mithin der Leitungswiderstand des Schließungsdrahtes verdoppelt wird, so kommt deshalb nicht die ganze Kraft der Kette auf die Hälfte herab, sondern es fragt sich nun, welchen Theil zum Gesammtleitungswiderstande der Schließungsdraht hergiebt.

Gesetzt, wir hätten eine Kette, in der wir die elektromotorische Kraft $=1$, den Widerstand des Schließungsdrahtes ebenfalls $=1$ setzen, und in welcher der übrige Widerstand (der Flüssigkeit und des Überganges) gleich dem 9fachen von dem des Schließungsdrahtes sei, so wird die Kraft dieser Kette durch $\frac{1}{9+1}$ oder $\frac{1}{10}$ ausgedrückt werden. Verdoppeln wir nun den Widerstand des Schließungsdrahtes, so wird dadurch nicht der ganze Divisor 10 verdoppelt, sondern nur der Theil desselben, welchen der Widerstand des

Schließungsdrahtes darstellt, sonach wird die erst durch $\frac{1}{9+1}$ ausgedrückte Kraft jetzt durch $\frac{1}{9+2}$ oder $\frac{1}{11}$ ausgedrückt werden, und sie hat mithin nur wenig abgenommen. Fände aber das umgekehrte Verhältniß Statt, d. h. betrüge der Widerstand des Schließungsdrahtes das 9fache vom übrigen Widerstande in der Kette, so würde durch Verdoppelung des ersteren die Kraft $\frac{1}{9+1} = \frac{1}{10}$ zu $\frac{1}{18+1} = \frac{1}{19}$ werden, mithin fast auf die Hälfte sinken.

Im Allgemeinen, je mehr ein Theil des Gesammtwiderstandes gegen die übrigen Theile desselben verschwindet, um so mehr verliert Vergrößerung oder Verkleinerung jenes Theiles in einem bestimmten Verhältnisse an Einfluß zur Schwächung oder Verstärkung der Kraft der Kette, je mehr er dagegen zum Gesammtwiderstande beiträgt, um so größer wird dieser Einfluß.

Beispiele für diese Umstände sind fast auf jeder Seite meines Werkes zu finden.

b) Wenn man den Leitungswiderstand irgend eines auch noch so kleinen Theiles der Kette immer mehr vermehrt, oder, mit anderen Worten, ihn immer schlechter leitend nimmt, so muß dadurch zuletzt eine Gränze erreicht werden, wo die Wirkung der Kette so gut wie null wird, weil durch Vergrößerung des Leitungswiderstandes eines beliebigen Theiles der Kette ins Unbestimmte zugleich der Gesammtleitungswiderstand *) oder Divisor der Kraft ins Unbestimmte zunimmt; wie man denn wirklich findet, daß, wenn man einem auch noch so kleinen metallischen Theile der Kette eine Schicht eines möglichst guten Nichtleiters substituirt, oder einen solchen irgendwo einschiebt, die Wirkung der ganzen Kette unterbrochen wird.

Indeß hat man es in seiner Gewalt, selbst einen sehr starken Widerstand, wie ihn Körper, welche von uns für Nichtleiter gehalten werden, äußern, dadurch zu compensiren, daß man zugleich die gesammte elektromotorische Kraft, welche in der Kette wirksam ist, erhöht, weil so mit dem Divisor zugleich der Dividend der Kraft des Stromes zunimmt, und dies erreicht man dadurch, daß man die Kette aus einer großen Anzahl Plattenpaare, deren elektromotorische Kräfte sich dann zur Summe zusammensetzen, nach dem Principe der Säule bildet. In der That hat Davy mittelst einer Säule aus 2000 Plattenpaaren den elektrischen Kreislauf selbst durch eine Luftschicht hindurch eingeleitet.

Überhaupt wird man, diesem Gesetze zufolge, in allen Fällen, wo es darauf ankommt, den Strom auf schlechtleitende Körper einwirken zu las-

*) Ich erinnere nochmals, daß ich unter Gesammtleitungswiderstand den Widerstand verstehe, den alle Theile der Kette zusammengenommen äußern, d. h. die Summe der Widerstände der einzelnen Theile der Kette.

sen, die Zahl der Plattenpaare möglichst zu vervielfältigen haben, um durch den Zuwachs der Summe der elektromotorischen Kräfte den größern Leitungswiderstand zu compensiren; dagegen man sich hier sehr betrogen sehen würde, wenn man bei Anwendung der einfachen Kette durch Vergrößerung der erregenden Oberfläche und Verstärkung der Leitungsflüssigkeit denselben Zweck zu erlangen hoffte. In der That lehren unsere Versuche, daß man hierdurch nichts zur Vergrößerung der elektromotorischen Kraft beitragen, sondern bloß den Widerstand der Flüssigkeit und des Überganges vermindern kann. Das Extrem, das sich auf solchem Wege erreichen läßt, würde mithin das sein, daß man diese beiden Widerstände merklich auf Null herabbrächte; ist aber der Widerstand des schließenden Körpers, auf den man den Strom wirken läßt, selbst sehr groß, so wird er, der hierdurch nicht vermindert wird, allein noch hinreichend sein, die Kraft der Kette in hohem Grade zu schwächen. Dagegen wird Vergrößerung der erregenden Oberfläche und Verstärkung der Leitungsflüssigkeit in allen den Fällen vom augenscheinlichsten Vortheile sein, wo der Widerstand des schließenden festen Leiters einen sehr kleinen Theil zum Gesammtwiderstande beiträgt, z. B. wenn eine einfache Kette durch einen kurzen und dicken Metalldraht geschlossen ist. Wird in diesem Falle der Widerstand der Flüssigkeit und des Überganges durch Verstärkung der Leitungsflüssigkeit und Vergrößerung der erregenden Oberfläche auf die Hälfte herabgebracht, so wird, da der hierbei ungeändert bleibende Widerstand des Drahtes nicht merklich in Betracht kommt, die Kraft ziemlich auf das Doppelte steigen müssen. Es erhellt hieraus:

c) Daß man nicht eben so, wie man durch Vermehrung des Leitungswiderstandes auch des kleinsten Theiles der Kette die Kraft der ganzen Kette ins Unbestimmte schwächen kann, daß man nicht eben so, sage ich, durch Verminderung des Leitungswiderstandes eines einzelnen Theiles der Kette ihre Kraft ins Unbestimmte erhöhen kann; vielmehr wird man dabei stets auf eine Gränze kommen müssen, über die hinaus eine weitere Verringerung des Leitungswiderstandes dieses Theiles keinen merklichen Einfluß mehr auf die Zunahme der Wirksamkeit der Kette hat. Ist nämlich der Leitungswiderstand eines gewissen Theiles der Kette einmal so weit verringert, daß er gegen den Leitungswiderstand der übrigen Theile der Kette nicht mehr merklich in Betracht kommt, so wird man ihn dann noch ferner, so weit man will, verringern können, ohne daß dadurch der Gesammtwiderstand weiter eine merkliche Verringerung erfährt.

In der That lehrt u. a. Versuchsreihe 59. meines Werkes (S. 88 und 89), daß durch Vergrößerung der erregenden Oberfläche und Verstärkung der Leitungsflüssigkeit die Wirksamkeit der Kette nicht bis über ein gewisses Maximum erhöht werden kann, welches um so eher erreicht wird, aber seinem Werthe nach um so kleiner ausfällt, je größer der Widerstand des metallischen Schließungsdrahtes ist.

Mit diesen allgemeinen Folgerungen nun ist schon der Schlüssel zu

vielen Verhältnissen der galvanischen Kette gegeben, über die man sich früher sehr unbestimmte und ungenügende Vorstellungen machte. Es erhellt daraus, warum der menschliche Körper, wenn er als Glied in die Kette tritt, eine Säule von vielen Plattenpaaren verlangt, um eine merkliche Wirkung zu erfahren, weil er sonst durch seinen großen Leitungswiderstand die Kraft der Kette zu sehr schwächen würde; warum aber Vergrößerung der Plattenpaare bis zu einer gewissen Gränze zu dieser Wirkung fast nichts Merkliches beiträgt, weil hierdurch der Gesammtwiderstand der Kette, zu dem der menschliche Körper den größten Theil hergiebt, in einem zu kleinen Verhältnisse verringert werden würde. Es erhellt ferner daraus, warum die Glüh- und Hitzewirkungen der Kette im Allgemeinen so sehr durch starke Leitungsflüssigkeit und große erregende Oberflächen zunehmen; weil hier immer nur verhältnißmäßig nicht zu lange Metalldrähte, welche eben jene Wirkungen erfahren sollen, die Kette schließen; warum auch beim Multiplicatordrahte, wofern er nur nicht zu lang ist, Vergrößerung der erregenden Oberfläche und Verstärkung der Flüssigkeit verhältnißmäßig mehr zur Wirkung beiträgt, als Vervielfältigung der Plattenpaare, weil sich selbst ein ziemlich langer Draht immer noch als ein verhältnißmäßig guter Leiter ansehen läßt.

Es wird sich auch leicht einsehen lassen, wie in dem Angeführten der vollgültige Erklärungsgrund von dem Unterschiede enthalten ist, der in der Wirksamkeit thermoelektrischer und hydroelektrischer Ketten enthalten ist; indem man erstere als solche Ketten betrachtet, in denen eine sehr schwache elektromotorische Kraft, zugleich aber ein sehr geringer Leitungswiderstand, vermöge Abwesenheit feuchter Leiter, vorhanden ist. Jedes Einschieben eines langen und dünnen oder eines feuchten Leiters, worauf man die thermoelektrische Kette etwa wirken lassen will, wird sie demgemäß in ohne Vergleich stärkerem Verhältnisse schwächen müssen, als eine hydroelektrische Kette, wo der schon anfänglich starke Leitungswiderstand durch solche Hinzufügung vielleicht nur sehr wenig vermehrt wird. Dies ist der alleinige Grund, warum selbst starke thermoelektrische Ketten in so vielen Fällen die Wirkungen hydroelektrischer Ketten zu liefern verweigern.

Das oben ausgesprochene Gesetz erfodert übrigens zu seiner Ergänzung noch folgende nähere Bestimmungen, welche den Zustand der einzelnen Theile der Kette betreffen.

Die Stärke der Strömung ist in allen (senkrecht auf die Stromesrichtung gemachten) successiven Querschnitten des Schließungsbogens gleich, unabhängig von der besondern Beschaffenheit oder Größe jedes Querschnitts.

Wenn daher ein Schließungsdraht der Länge nach aus sehr verschiedenen Metallen zusammengesetzt ist und eine sehr verschiedene Dicke an verschiedenen Stellen hat, so wird dennoch eine Magnetnadel, die man successive unter oder über diese verschiedenen Stellen bringt, gleichviel ob sie mehr nach der Mitte oder nach dem Ende des Leiters zu liegen, überall

ganz dieselbe Ablenkung erfahren oder dieselbe Anzahl der Oscillationen machen.

Die Richtigkeit dieses, aus Ohm's theoretischen Betrachtungen hervorgehenden, Satzes habe ich durch zwei Versuche (Maßbestimmungen S. 27) außer Zweifel gesetzt. Es wäre wünschenswerth, daß die experimentale Bewährung desselben Satzes auch auf die flüssigen Leiter ausgedehnt würde; denn wie aus derselben Theorie hervorgeht, äußern auch die flüssigen Leiter in der Kette, ungeachtet ihres viel größern Leitungswiderstandes, dieselbe Kraft auf die Nadel als die festen Leiter in derselben Kette*), und wenn ein nasser Bindfaden nicht so stark ablenkend wirkt, als ein ihm substituirter Schließungsdraht, so rührt dies daher, daß die Einbringung von jenem die *ganze* Kette viel mehr schwächt als die Einbringung von diesem, dagegen ein nasser Bindfaden und ein Draht, die *gleichzeitig* in *räumlicher* Aufeinanderfolge zur Schließung *derselben* Kette dienten, wahrscheinlich dieselbe Ablenkung hervorbringen würden. Hierüber jedoch fehlt es, wie gesagt, noch an directen Versuchen, die eben wegen der starken Schwächung der ganzen Kette durch dünne feuchte Leiter eine Schwierigkeit finden.

Ist wirklich die Gesammtkraft jedes Querschnitts der Kette gleich der Gesammtkraft jedes andern Querschnitts, der an einer Stelle der Länge der Kette durch dieselbe gemacht wird, so ergeben sich daraus noch folgende zwei Folgerungen:

1) *Wenn eine Veränderung an irgend einem Theile der Kette vorgenommen wird, sei es, daß sie die elektromotorische Kraft oder den Leitungswiderstand derselben betrifft, so beschränkt sich die daraus resultirende Veränderung in der Kraft des Stroms nicht auf die veränderte Stelle, sondern sie betrifft alle Theile der Kette in gleichem Verhältnisse, da nach dem angegebenen Gesetze ein Querschnitt der Kette stets eine eben so große Kraft als der andere äußern muß.*

Diesen Folgesatz habe ich durch directe Versuche bewährt (Maßbestimmungen S. 23).

2) *Wenn die Summe der strömenden Elektricität oder ihre Gesammtkraft in allen Querschnitten wirklich gleich ist, so muß die Intensität derselben nach Maßgabe abnehmen, als der Querschnitt eine größere Ausdehnung erhält, oder mit andern Worten, die gleiche Quantität Elektricität, die durch jeden Querschnitt strömt, muß*

*) In Bezug auf Beweise, daß überhaupt flüssige Leiter ablenkend auf die Nadel wirken können, vergl. *Seebeck* in Berl. Denkschr. 1820 — 1821. 383. — *Muncke* in Gehler's Wörterb. III. 501. — *Grotthuß* in allg. nord. Ann. VI. 146. — *Prechtl* in Gilb. LXVII. 222.

sich um so mehr ausbreiten und gleichsam verdünnen, je größer der Querschnitt ist*).

Hieraus folgt, was die Erfahrung vielfältig erwiesen hat (z. B. bei den Hitzewirkungen), daß dünne Leiter, wiewohl sie wegen stärkern Leitungswiderstandes die Strömung der ganzen Kette schwächen, doch selbst eine stärkere Wirkung erfahren könne, als dickere, in denen sich die Strömung mehr ausbreitet, so daß durch jeden Punct des dickern Leiters ein geringeres Quantum Elektricität strömt, als durch jeden Punct des dünnern. Auch ergiebt sich daraus, warum Nadeln, wenn sie auf Leitern von sehr großer Breite angebracht werden, eine schwächere Ablenkung erfahren, als auf schmalen Leitern, wo die gesammte Elektricität in ihrer Nähe concentrirt ist.

## Allgemeine Formeln in Bezug auf die Kraft galvanischer Ketten.

Die gesammte elektromotorische Kraft einer Kette heiße A, der Gesammtleitungswiderstand aller Theile zusammen genommen heiße L, die Kraft der galvanischen Kette heiße K, so hat man

$$K = \frac{A}{L}$$

Nennen wir den Widerstand, den die festen Theile der Kette für sich dem Strome entgegensetzen, $\lambda$, den die flüssigen entgegensetzen $\delta$, und den Widerstand, den der Strom beim Übergange zwischen festen und flüssigen Theilen findet, w; so ist L gleich der Summe dieser drei Widerstände, mithin hat man auch

$$K = \frac{A}{\lambda + \delta + w} \quad (1)$$

Die Größe $\lambda$ ist, wie schon früher bekannt, der Länge der festen Leiter direct, ihrem Querschnitte umgekehrt proportional, und hängt außerdem auch noch von der Materie (und Temperatur) derselben ab. Nach meinen Versuchen gilt dasselbe von der Größe $\delta$. Die Größe w steht nach meinen Versuchen im umgekehrten Verhältnisse der erregenden Oberfläche, ist um so kleiner, je stärker die Flüssigkeit chemisch die Platten angreift, und nimmt im Laufe des Geschlossenseins der Kette immer mehr zu, so daß ein Theil der Wirkungsabnahme der Kette hiervon abhängt (ein anderer Theil beruht auf Verminderung von A).

Die Größe A ist gleich dem Producte aus der Zahl der Plattenpaare in die elektromotorische Kraft jedes einzelnen.

Nach diesen Bestimmungen lassen sich leicht die Formeln ableiten, welche die Zunahme der Wirkung mit Vergrößerung der erregenden Oberfläche

*) Man wird mit Nutzen hierbei die Erörterungen von Ohm in Kastner's Archiv. XVI. 33. vergleichen, wo Formeln in Bezug auf die hiermit zusammenhängenden galvanischen Spitzenwirkungen gegeben sind.

und Zahl der Plattenpaare bestimmen, und die wir im Folgenden mittheilen werden.

## B. Von der elektromotorischen Kraft.

Es hatte bisher noch ganz an directen Beweisen für die geschlossene Kette gefehlt, daß die Summe der elektromotorischen Kräfte z. B. von Zink-Zinn und Zinn-Kupfer gleich sei der elektromotorischen Kraft der äußersten Glieder dieser Plattenpaare, d. h. gleich der elektromotorischen Kraft eines Plattenpaares aus Zink-Kupfer.

Durch die Methode der Oscillationen läßt sich dieser Beweis leicht führen, indem man ganz gleich construirte Ketten von Zink-Zinn, Zinn-Kupfer und Zink-Kupfer in schwach saurem Wasser unmittelbar bei der Schließung hinsichtlich der Stärke ihrer Wirkung prüft. Da unter diesen Umständen der Leitungswiderstand dieser Ketten gleich ist, und die im Verlaufe der Schließung an den Plattenpaaren eintretenden Veränderungen, welche die elektromotorische Kraft mindern, noch nicht Zeit gehabt haben, sich bemerklich zu machen, so ist dies Verfahren völlig geeignet, das in Rede stehende Gesetz zu prüfen.,

In der That habe ich dasselbe durch so angestellte Versuche, die man in meinen Maßbestimmungen (S. 60 ff.) angeführt findet, bewährt gefunden. Es ergab sich u. a. bei einer Beobachtungsreihe im Mittel von drei Versuchen als elektromotorische Kraft (auf eine unbestimmte Einheit bezogen) für Zink-Kupfer die Zahl 27,83, und als Summe der elektromotorischen Kräfte von Zink-Zinn und Zinn-Kupfer 28,11. Mehrere andere Beobachtungsreihen dienten zu derselben Bestätigung.

Bemerkung verdient jedoch, daß man in Brunnenwasser dies Gesetz im Allgemeinen nicht bestätigt findet; dieses Wasser scheint durch seine Salztheile (vergl. S. 371) sofort beim Eintauchen Veränderungen gewisser Art an den Metallen hervorzubringen, welche hindern, daß das Gesetz sich hier äußere. Fast durchgängig habe ich die elektromotorische Kraft von Zink-Kupfer, unmittelbar nach der Schließung geprüft, bedeutend größer gefunden, als die Summe der elektromotorischen Kräfte von Zinn-Kupfer und Zinn-Zink, ohne daß dieser Umstand etwa von einer, während der Prüfung schon eingetretenen, Wirkungsabnahme der Kette abhängig gemacht werden konnte; denn dies Resultat wurde bei Ketten erhalten, wo eine solche Abnahme während der Zeit der Prüfung noch nicht bemerklich war. Hievon wird unten näher die Rede sein.

Meine Versuche haben mich ferner ganz entschieden gelehrt, daß die elektromotorische Kraft der geschlossenen Ketten in keiner wesentlichen Abhängigkeit von der Beschaffenheit der schließenden Flüssigkeiten steht (Maßbestimmungen S. 75 ff.). Da ich schon S. 361 hievon gesprochen habe, so komme ich nicht nochmals darauf zurück. Die Fälle, wo in verschiedenen Flüssigkeiten verschiedene elektromotorische Kräfte sich äußern, dürften

wohl ebenfalls auf einer sehr schnell eintretenden verändernden Einwirkung der Flüssigkeit auf die metallischen Oberflächen beruhen.

C. Vom Widerstande der Schließungsdrähte und andrer fester Körper. Multiplicator, elektromagnetischer Telegraph.

Allgemeine Sätze über den Widerstand der Schließungsdrähte. Durch meine Versuche über diesen Gegenstand in meinen galvanischen Maßbestimmungen sind folgende, zum Theil schon früher erwiesene oder doch als gültig angenommene, Sätze mittelst des Verfahrens der Oscillationen aufs Neue bestätigt worden:

1) Der Widerstand der Schließungsdrähte nimmt nach dem geraden Verhältniß ihrer Länge zu, d. h. wenn l die einfache Länge eines Schließungsdrahtes ist, so ist die Kraft K der Kette, wenn sie mit der nfachen Länge desselben Drahtes geschlossen ist:

$$K = \frac{A}{c + nl} \qquad (2)$$

wo A die elektromotorische Kraft der Kette bedeutet, c aber den Widerstand, den die übrigen Theile der Kette außer dem Schließungsdrahte dem Strome entgegensetzen. Alle Veränderungen, welche eine Kette in ihrer Wirksamkeit je nach Veränderung der Länge des Schließungsdrahtes erleidet, lassen sich hienach leicht voraussehen. (Maßbestimmungen Versuche 3. bis 7.)

2) Wenn zwei homogene Schließungsdrähte von verschiedener Länge in solcher Art neben einander in die Kette gebracht sind, daß der Strom sich zwischen beide zu theilen hat, so steht der Verhältnißtheil Elektricität, der durch jeden hindurchgeht, im umgekehrten Verhältnisse ihrer Länge. (Maßbestimmungen Versuch 9.)

3) Hinsichtlich der Gesammtkraft des Stromes wirken zwei solche, die Kette neben einander schließende, Leiter von der Länge m und n einem einzigen Leiter von der Länge $\frac{mn}{m+n}$ gleich (Maßbestimmungen Versuch 8.), woraus u. a. die schon bekannte Thatsache als Folgerung hervorgeht, daß zwei oder drei homogene Drähte gleicher Dicke und Länge, welche neben einander die Kette schließen, einem einzigen homogenen Drahte von derselben Dicke, aber bloß der Hälfte oder dem Dritttheil der Länge, welche jeder Draht hat, gleich wirken.

Gesetze des elektromagnetischen Multiplicators.

Wenn man bedenkt, daß die vermehrte Zahl der Windungen eines Multiplicators den Einfluß hat, die Wirkung desselben auf die Nadel nach dem geraden Verhältnisse der Windungszahl zu vergrößern, wie dies durch Kämtz frühere Versuche erwiesen ist, zugleich aber, daß die mit vermehrter Windungszahl zunehmende Länge des Drahtes, nach Maßgabe als sie den Gesammtwiderstand der Kette vermehrt, von anderer Seite eine Schwä-

chung in die Kette bringt, so wird sich ohne Schwierigkeit auf die schon angeführten Formeln folgende Formel für die Wirkung K, die ein Multiplicator auf die Nadel äußert, gründen lassen:

$$K = \frac{n A}{c + n \lambda} \quad (3)$$

Hierin bedeutet n die Zahl der Windungen, $\lambda$ den Widerstand einer einzigen Windung (welcher der Länge der Windung direct, dem Querschnitt des Drahtes umgekehrt proportional ist), A die elektromotorische Kraft der Kette, c den Widerstand, den die übrigen Theile der Kette außer dem Multiplicator dem Strome entgegensetzen. Genau ist zwar diese Formel nur für die Voraussetzung, daß alle Windungen in merklich gleicher Ferne von der Nadel lägen, die in der Wirklichkeit nicht erreichbar ist. Dennoch wird sie immer sehr gut dienen können, alle Umstände, unter denen ein Multiplicator von viel oder wenig Windungen, von dünnem oder dicken Draht nützlicher ist, und die Umstände, welche die Gränzen seiner Wirksamkeit bestimmen, daraus herzuleiten.

Eine nähere Erörterung der Formel, so wie mehrere frühere Erfahrungen, welche derselben sämmtlich zur Bestätigung dienen, habe ich in meinem Lehrbuche des Galvanismus von S. 219 an gegeben. Hier will ich bloß folgende zwei Folgerungen daraus, die Ohm durch Versuche in Schweigg. J. LV. 1 bewährt hat, speciell wiederholen:

1) Die Wirkung eines Multiplicators hängt in Fällen, wo sein Leitungswiderstand gegen den der übrigen Kette verschwindet, bloß von der Anzahl seiner Windungen, keineswegs aber weder von der Dicke, noch von der Materie des dazu gebrauchten Drahtes ab.

2) In demselben Falle steigt und fällt die Wirkung zweier Multiplicatoren, die eine verschiedene Anzahl von Windungen erhalten haben, mit dieser Zahl im geraden Verhältnisse.

## Galvanischer oder elektromagnetischer Telegraph, von Ampère *).

Ampère hat einen Telegraphen vorgeschlagen, der sich auf die Construction des elektromagnetischen Multiplicators gründet, und im Modelle schon von Ritchie ausgeführt worden ist. Seine wesentliche Einrichtung besteht in Folgendem:

Man hat gedruckte Lettern, welche in einer schicklichen Stellung befestigt, aber dem Auge durch leichte Schirme aus Kartenpapier verborgen sind. Jeder dieser Schirme ist am Ende eines leichten Holzstäbchens befestigt, welches eine Magnetnadel trägt und an einem Faden aufgehangen ist, so daß, wenn die Magnetnadel sich in der Richtung des magnetischen Meridians befindet, die Buchstaben von den Schirmen verdeckt

*) Froriep's Notiz. Nr. 6. des XXVII. Bandes S. 86.

werden. Unter jeder Nadel ist ein Multiplicator angebracht *), dessen Enden nach dem Orte hinlaufen, von wo die Nachricht anlangen soll. Wenn am letzten Orte die Enden eines dieser Multiplicatoren respectiv mit den entgegengesetzten Polen einer Volta'schen Säule in Verbindung gesetzt werden, so wird die Magnetnadel abgelenkt, der Schirm hierdurch vom Buchstaben entfernt und dieser solchergestalt sichtbar werden. Der Vorschlag Ampère's geht dahin, die Drähte, welche die Communication von einem Orte zum andern bewerkstelligen sollen, unter einer Chaussée wegzuleiten.

Ich selbst habe in meinem Lehrbuche des Galvanismus S. 268 schon die Anwendung von Multiplicatoren zu Telegraphen in Vorschlag gebracht. Hinsichtlich der Anwendbarkeit will ich bemerken, daß nach der Theorie und meinen Versuchen bei so langen Leitungsdrähten, als zum Telegraphen anzuwenden wären, auf die Größe der Plattenpaare und die Stärke der Leitungsflüssigkeit wenig ankommen würde, dagegen die Wirkung nach der geraden Zahl der Plattenpaare der Säule, so wie auch im geraden Verhältnisse der Dicke des Drahtes wachsen würde. Nun habe ich mit einem einzigen Plattenpaare Zink-Kupfer in schwach saurem Wasser, bei Anwendung eines sehr dünnen, übersponnenen, übersilberten Kupferdrahtes (von welchem 1 Fuß im unbekleideten Zustande 1,95 Gran wog), noch hinreichende Ablenkungen einer Nobili'schen Doppelnadel erhalten, wenn die Länge des Drahtes 1384 Meter betrug. Rechnen wir die geographische Meile zu 7407 Meter und berücksichtigen, daß, um die Wirkung auf eine gewisse Strecke fortzupflanzen, der Draht hin- und zurückgeleitet werden muß, so erhellt, daß eine Säule von 107 kleinen Plattenpaaren hinreichend sein würde, eine telegraphische Communication auf eine Strecke von 10 geographischen Meilen zu vermitteln. Die Drahtlänge müßte aber für eine solche Strecke, um hin- und zurückgeführt werden zu können, für jeden Buchstaben 20 Meilen betragen, und dies möchte allerdings keinen geringen Aufwand verursachen.

## Leitungsvermögen verschiedener Mineralien.

Fox **) hat verschiedene Mineralien hinsichtlich ihres Leitungsvermögens mittelst des Multiplicators geprüft, und stellt sie in der Ordnung von bessern zu schlechtern Leitern in nachstehender Reihenfolge auf. Er führt indeß nichts Genaues über die Methode an, die er bei der Bestimmung befolgte, auch nicht, ob er die geprüften Mineralien von gleichen Dimensionen anwandte; daher allerdings der Werth dieser Bestimmungen nicht groß ist.

Leiter: 1) Kupfernickel; 2) purpurnes Kupfer (Purple copper), gelbes Schwefelkupfer und glasiges Schwefelkupfer; 3) Schwefeleisen; 4) Ar-

*) Unstreitig wird man sich hiebei sehr gut der Nobili'schen Doppelnadel bedienen können, so daß die Nadel, mit welcher der Schirm in Verbindung steht, die obere ist. F.

**) Philosoph. transact. 1830. P. II. p. 402.

senikkies; 5) Schwefelblei; 6) Arsenikkobalt; 7) krystallisirtes schwarzes Manganoxyd; 8) Tennantit; 9) Fahlerz.

Sehr unvollkommene Leiter: 10) Schwefelmolybdän; 11) Schwefelzinn oder vielmehr Glockenmetallerz (bell-metall ore).

Nichtleiter: 12) Schwefelsilber; 13) Schwefelquecksilber; 14) Schwefelantimon; 15) Schwefelwismuth; 16) Realgar; 17) Schwefelmangan; 18) Schwefelzink; 19) Metalloxyde und Metallsäuren.

Leitungsvermögen der Kohle. Aus folgenden Versuchen Kemp's geht hervor, daß das Leitungsvermögen der Kohle zunimmt bei erhöheter Temperatur, und daß sie im Zustande lebhafter Verbrennung den Strom einer einfachen Kette sogar eben so gut leitet, als Metalldrähte.

Die Beschreibung des vom Verfasser angewandten galvanischen Apparates können wir, als von keinem besondern Belang für den Erfolg der Versuche, übergehen.

Die im 1. Versuche des Verfassers unter der an einem einzelnen Coconfaden aufgehängten Nadel hinweggeführte, mittelst einfacher Drähte bewerkstelligte, ununterbrochen metallische, Leitung wirkte so stark auf die Nadel, daß sie bei Schließung der Kette eine mit ihrer gewöhnlichen Richtung beinahe unter rechten Winkeln sich schneidende Lage annahm.

In dem 2. Versuche wurde die metallische Leitung in einer Strecke von 6 Zoll durch brennende Koke's unterbrochen. An jedes Ende der leitenden Kupferdrähte befestigte Kemp nämlich $\frac{1}{4}$ Zoll dicke Eisenstäbe, deren freie Enden breit geschlagen worden waren, um eine größere Oberfläche darzubieten; die anderen an die Kupferdrähte befestigten Enden wurden zum Behufe eines vollkommnern Contactes mit Amalgam bestrichen. Diese Eisenstäbe wurden, in einer Entfernung von 6 Zoll von einander, in einen mit brennenden Koke's angefüllten Ofen aus Ziegelsteinen, ohne metallenen Rost, gelegt. Hatte die Temperatur des Ofens Dunkelrothglühhitze erreicht, und wurde dann der Kreis geschlossen, von welchem die Kohle so einen Theil ausmachte, so wurde die Nadel nur sehr schwach afficirt. Deutlicher war die Wirkung beim hellen Rothglühen; bei der Temperatur schmelzenden Kupfers stieg diese Wirkung ungefähr aufs Doppelte, und fortwährend wuchs sie im Verhältnisse der Temperaturzunahme bis zum Schmelzpuncte des Eisens, bei welchem die Wirkung der einer vollständig metallischen Leitung nur wenig nachgab.

Dieser Versuch wurde hierauf in folgender Weise modificirt: Ein dichtes, zusammenhängendes Stück Kohle, von ungefähr 1 Zoll im Durchmesser und 6 Zoll Länge, wurde in einem 3. Versuche in den Kreis eingebracht, indem die beiden Enden desselben mit den beiden kupfernen Leitungsdrähten spiralförmig umwunden wurden, jedoch so, daß in der Mitte

*) Edinb. N. philosoph. Journ. (Jan. — Apill.) 1829. 344. oder Schweigg. LV. 448.

der Kohle ein Zwischenraum von ungefähr anderthalb Zoll frei von metallischer Leitung übrig blieb. In gewöhnlicher Temperatur wirkte der Strom eines einfachen Plattenpaares bei dieser unterbrochenen Leitung nicht auf die Magnetnadel; wurde aber die in den Ofen hinabgesenkte Kohle bis zum Rothglühen erhitzt, so zeigte die Nadel durch ihre Abweichung an, daß der elektrische Strom circulire, und die Wirkung desselben auf die Nadel nahm allmälig mit Steigerung der Temperatur zu. Hierauf ward das Kohlenstück so weit emporgehoben, daß es der Zugöffnung des Ofens gegenüber zu stehen kam; die Wirkung auf die Magnetnadel wuchs unter diesen Umständen, indem die Kohle rasch verbrannte, in bedeutendem Grade.

Daß nicht sowohl der Grad der Temperatur, sondern der Zustand mehr oder minder rascher Verbrennung es war, welcher die leitende Kraft der Kohle in diesen Versuchen modificirte, lehrt der 4. Versuch, in welchem ein ähnlich wie beim vorigen Versuche zugerichtetes Kohlenstück in eine Glasröhre eingebracht wurde, die man, dicht um die an die Kohle befestigten Kupferdrähte herum, hermetisch verschloß. In dieser Weise vom Zutritte der Luft abgeschlossen und bis zum Rothglühen erhitzt, hemmte die Kohle, bei übrigens geschlossenem Kreise, jede Wirkung des elektrischen Stroms auf die Magnetnadel; nur dann erst, als die Temperatur so hoch gesteigert worden war, daß die Glasröhre rings um die Kohle herum in Schmelzung gerieth, wurde eine schwache Wirkung wahrnehmbar, die indeß bei Weitem nicht einen so hohen Grad erlangte, als die der im Verbrennungszustande befindlichen Kohle.

Bei Gelegenheit dieser Versuche hat Kemp nachgewiesen, daß auch die Kohle im Kreise der galvanischen Batterie die Ablenkung der Nadel, die sich in ihrer Nähe befindet, zu bewirken vermag. Wir begnügen uns dies Resultat, das Niemandem unerwartet scheinen wird, anzuzeigen, indem wir hinsichtlich des Ausführlichen der deshalb angestellten Versuche auf die Originalabhandlung verweisen (Schweigg. LV. 451).

## D. Vom Leitungswiderstande der Flüssigkeiten.

Was die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes der Flüssigkeiten von ihren Dimensionen betrifft, so haben mich meine Versuche darüber zu folgenden Bestimmungen geführt:

1) Der Leitungswiderstand der Flüssigkeit ist dem Abstande der Erregerplatte darin direct proportional.
2) Er steht im umgekehrten Verhältnisse des Querschnitts der Flüssigkeit, wenigstens in den Fällen, wo die erregende Oberfläche mit diesem Querschnitte zugleich zu- oder abnimmt.

Was den ersten Satz anlangt, so findet man hinreichende Belege dafür in meinen Maßbestimmungen Versuch 10. bis 29. Es mag genügen, den Versuch 10. hier mitzutheilen, und zwar gleich die aus den Oscillationen berechneten Stromkräfte anzuführen.

Einfache Kette, Zink-Kupfer, jede Platte von 8,7 par. Decimal-

Quadratzoll Oberfläche; der Abstand beider Platten wird durch Einsetzen in die verschiedenen Seitenfugen eines langen Troges abgeändert. Die Flüssigkeit ist Wasser mit $\frac{1}{252}$ Volumen Salzsäure von 1,080 specifischem Gewichte. Die Kraft ist die, welche durch die ersten Oscillationen der Nadel unmittelbar bei der Schließung während einer Zeitperiode, wo sich die Wirkungsabnahme noch vernachlässigen ließ, angezeigt wird. Die Einheit des Abstandes, die wir 1 d nennen wollen, war 3,98 par. Decimallinien.

| Abstand . . . . . . | 1 d | 2 d | 4 d | 8 d | 12 d | 16 d | 20 d | 28 d | 32 d | 36 d | 44 d |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beobachtete Kraft . . | 19,6 | 15,0 | 10,8 | 6,51 | 4,39 | 3,52 | 3,00 | 2,24 | 1,93 | 1,77 | 1,45 |
| Berechnete Kraft . . | 19,8 | 15,1 | 10,6 | 6,61 | 4,40 | 3,65 | 2,94 | 2,21 | 1,96 | 1,75 | 1,47 |

Die Berechnung der Kraft ist nach der Formel geschehen:

$$K = \frac{A}{c' + nd} \qquad (4)$$

wo d den Widerstand der Flüssigkeit bei dem einfachen Abstande, nd bei dem nfachen Abstande bedeutet, c′ den Widerstand der übrigen Theile der Kette (abgesehen von der Flüssigkeit), A die elektromotorische Kraft. A ist = 1 gesetzt; d = 0,0142; c′ ergiebt sich bei den Beobachtungen von 1d bis 8d gleich 0,0377; bei den von 12d bis 44d aber gleich 0,0566. Dies überspringen auf einen andern Werth beruht darauf, daß bei starker Abänderung des Leitungswiderstandes der festen oder flüssigen Leiter der Übergangswiderstand *) häufig freiwillig auf andere Stufenwerthe überspringt, die Multipla oder Submultipla von einander sind, wovon weiterhin noch näher die Rede sein wird. In der That, da sich bei derselben Kette der Leitungswiderstand des Schließungsdrahtes durch Abänderungen seiner Länge gleich 0,01854 ergab, wozu sich die Data in der Originalschrift finden, so bleibt für den Übergangswiderstand von 1d bis 8d der Werth 0,01916, von 12d bis 44d der Werth 0,0381, wovon die letzte Größe merklich genau die doppelte der ersten ist.

Auch folgende zwei, neuerdings von Bigeon **) mittelst einer Drehwage angestellte Versuche bestätigen hinreichend dasselbe Gesetz ***), wie sich durch die von mir beigefügte Berechnung ergiebt. Sie wurden mit Platten von Zink und Kupfer, deren jede etwas über 14 Quadratlinien groß war, angestellt. Wegen der Wirkungsabnahme wurde mit der Platte hin- und zurückgegangen, woraus das Mittel in Betracht zu ziehen ist.

| Abstand. | Torsion beim Hingange. | Torsion beim Rückgange. | Mittel. | Berechnetes Mittel. | Werth von A, d und c′. |
|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 377 | 360 | 368 | 361 | A = 1 |
| 12 | 516 | 462 | 489 | 491 | d = 0,0000823 |
| 6 | 629 | 551 | 590 | 650 | c′ = 0,001044 |
| 3 | 788 | 748 | 768 | 776 | |
| ½ | 972 | 958 | 965 | 924 | |
| 3 | 493 | 531 | 512 | 506 | A = 1 |
| 6 | 441 | 463 | 452 | 456 | d = 0,0000723 |
| 12 | 358 | 390 | 374 | 380 | c′ = 0,00176 |
| 21 | 313 | 318 | 305 | 315 | |

*) Dieser zusammen mit dem Widerstande des Schließungsdrahtes macht die Größe c′ aus.

**) Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 85.

***) Was übrigens Bigeon selbst nicht bekannt war, da er bloß die Versuche schlechthin mitgetheilt hat.

Wahrscheinlich würden die beobachteten Resultate noch genauer sich an die berechneten anschließen, wenn Bigeon alle die Vorsichtsmaßregeln gekannt hätte, die bei Versuchen dieser Art zu nehmen sind.

Auch Ritchie *) hat mittelst einer Multiplicatordrehwage Versuche angestellt, nach welchem Verhältnisse mit der Länge des schließenden festen oder flüssigen Leiters die Kraft des Stromes abnehme, und will dabei das Gesetz gefunden haben, daß die Kraft bei beiden im umgekehrten Verhältnisse der Quadratwurzel dieser Länge steht. Nun ist wohl möglich, daß sich bei manchen Versuchen ein diesem angenähertes Verhältniß ergiebt; allein allgemein genommen ist dies Gesetz erwiesen falsch. Ich glaube, daß meine eigenen Versuche, die ich mit Vorsichtsmaßregeln angestellt habe, an welche jener Beobachter schwerlich gedacht hat, hierüber keinen Zweifel übrig lassen können.

Was die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes der Flüssigkeiten von der Beschaffenheit derselben betrifft, so waren alle früheren Versuche darüber so angestellt, daß man (wie Marianini) eine und dieselbe oder mehrere gleich construirte Ketten successiv durch verschiedene Flüssigkeiten schloß und die Wirkungen verglich, die sie hervorbrachten, oder daß man, wie u. a. Pfaff und Förstemann verfahren sind, in eine wirksame Kette, zwar nicht zwischen den Erregerplatten selbst aber irgendwo anders, die Flüssigkeit in eine Zelle oder Röhre so einschaltete, daß der Strom durch sie hindurchgehen mußte und nun ihre verschiedenen Wirkungen bei derselben Höhe in der Zelle, oder die verschiedenen Höhen, die die Flüssigkeiten in der Zelle haben mußten, um dieselbe Wirkung hervorzubringen, verglich.

Abgerechnet jedoch, daß dies Verfahren, um übereinstimmende Resultate zu geben, Vorsichtsmaßregeln erfodert, welche von den Beobachtern nicht scheinen angewandt worden zu sein, so kann es auch schon deshalb auf keine Weise reine Resultate geben, weil die veränderte Kraft, welche die Kette bei Veränderung der Leitungsflüssigkeit zeigt, eben so wohl, ja häufig zu einem viel größern Theile, von Veränderung des Übergangswiderstandes abhängt, der bei jeder Flüssigkeit im Allgemeinen ein anderer ist, daher man auf diese Weise ein complicirtes Resultat erhält. Auch gilt dies eben so wohl für den Fall, wenn die Flüssigkeit zwischen Wänden oder Drähten von homogenem Metall in die Kette eingebracht, als wenn sie zur Schließung der Erregerplatten selbst angewandt wird. Noch vollends aller Vergleichbarkeit beraubt werden die Resultate, wenn man die Ketten etwa in verschiedenen Wirkungsperioden oder zwar stets zu Anfange, aber ohne zuvorige sehr sorgsame Reinigung der Platten, Drähte oder Wände, zwischen die man die Flüssigkeit bringt, vergleicht.

Endlich ist auch dies Verfahren zu einem wahren Maße deshalb ganz untauglich, weil die von dem Unterschiede im Leitungswiderstande der Flüs-

*) Bibl. univ. 1831. Janv. p. 9.

sigkeiten abhängigen Kraftunterschiede der Kette, die man als Maß anwendet, um so mehr verschwinden, je länger zugleich der Schließungsdraht ist, so daß Ketten mit verschiedenen Flüssigkeiten, die bei kürzem Schließungsdrahte die größte Differenz zeigten, bei längerem merklich gleiche Kräfte zeigen können, was nur eine Folgerung des Grundgesetzes der galvanischen Kette und der es ausdrückenden Formel ist, und durch Versuche in meinen Maßbestimmungen hinlänglich bestätigt wird.

Man kann jedoch ein von dem Übergangswiderstande gänzlich unabhängiges, und zugleich ein wahres und vergleichbares Maß gewährendes, Resultat auf eine der beiden folgenden Weisen erhalten:

Erste Methode. Man schließt eine Kette erst bei dem einfachen Abstande der Metallplatten, dann bei einem gewissen Multiplum dieses Abstandes, jedesmal mit der bloßen Multiplicatorlänge, und beobachtet mittelst der Methode der Drehwage oder der Oscillationen die Kräfte, welche beiden Abständen entsprechen. Man kehrt dann zu dem ersten Abstande zurück, aber anstatt die Kette jetzt wieder mit der einfachen Multiplicatorlänge zu schließen, fügt man ihr successiv so viele andere mit einander verglichene Drahtlängen hinzu, bis die Wirkung derjenigen gleich wird, welche bei Schließung mit der einfachen Multiplicatorlänge, aber dem vielfachen Abstande, Statt hatte, was sich begreiflich nur durch mehrere Versuche erreichen läßt. Dann können die hinzugefügten Drahtlängen als Maß des Widerstandes dienen, den die hinzugefügte Flüssigkeitsstrecke äußert, da sie die Kraft der Kette eben so sehr schwächen. Stellt man nun den Versuch auf dieselbe Weise mit anderen Flüssigkeiten an, so wird man finden, daß die Hinzufügung derselben Flüssigkeitsstrecke in jeder durch eine andere Anzahl Drahtlängen, die mit ihr gleiche Wirkungen äußert, repräsentirt wird, und man wird so mittelst der Drahtlängen die Flüssigkeiten hinsichtlich ihres Widerstandes vergleichen können. Begreiflich würde man zu demselben Resultate gelangen, wenn man umgekehrt verführe, indem man die Kette bei dem einfachen Abstande der Metallplatten erst mit der einfachen Multiplicatorlänge, dann mit einem Vielfachen dieser Länge schlöße, und nun zusähe, um wie viel der einfache Abstand der Metallplatten in jeder Flüssigkeit vermehrt werden müßte, um die Kraft der Kette eben so weit zu schwächen, als es jene Drahtlängen thun. Zugleich wird man durch diese Methode die genaue Vergleichung des Widerstandes des flüssigen Leiters mit dem des festen Schließungsdrahtes erhalten.

Am zweckmäßigsten dürfte es sein, eine Reihe von Versuchen in jeder Flüssigkeit, sowohl mit stufenweiser Abänderung des Schließungsdrahtes als des Abstandes der Platten vorzunehmen, indem sich dann immer von selbst coincidirende Werthe oder doch nahe coincidirende Werthe der Kraft in beiden Reihen finden werden, welche eine Vergleichung des Widerstandes der Flüssigkeit mit dem constanten Widerstande des Drahtes zulassen. Auf diese Weise, welche zugleich die Elemente zur Ausmittelung des Flüssigkeitswiderstandes nach der sogleich anzugebenden zweiten Methode in sich schließt,

bin ich bei den Versuchen, die ich in meinen Maßbestimmungen angeführt habe, gewöhnlich verfahren.

Als Beispiel mag Versuch 11. S. 38 der Maßbestimmungen dienen. Die einfache Drahtlänge wird mit 1 l, der einfache Abstand der Platten mit 1 d bezeichnet. Es sind wiederum bloß die Kraftwerthe, wie sie unmittelbar bei jener neuen Schließung mit der abgeänderten Drahtlänge oder dem abgeänderten Abstande beobachtet wurden, verzeichnet.

| | 1 l | 9 l | 36 l | 72 l | 132 l | 213 l |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 d | 5,92 | 4,14 | 2,15 | 1,41 | 0,864 | 0,569 |
| 2 d | 3,39 | 2,85 | 1,84 | .. | 0,803 | 0,563 |

| | 2 d | 4 d | 6 d | 12 d | 17 d | 20 d |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 l | 3,39 | 2,15 | 1,60 | 0,864 | 0,607 | 0,556 |

Wie man sieht coincidiren folgende Beobachtungen hinsichtlich des Kraftwerthes:

1 d, 36 l mit 4 d, 1 l
12 d, 1 l mit 1 d, 132 l

mithin hätte man

3 d = 35 l d. i. 1 d = 11,9 l
11 d = 131 l   1 d = 11,9 l

welche Resultate genau zusammenstimmen, den Widerstand von 1 d in dieser Flüssigkeit 11,9mal so groß als von 1 l finden zu lassen. Ein wenig hievon abweichender Werth ergiebt sich auch durch Berechnung der vorigen Versuchsreihe nach der folgenden Methode. Es leuchtet ein, daß, wenn man mit derselben Drahtlänge analoge Versuche in anderen Flüssigkeiten anstellte, man nun auch finden würde, welchem Multiplum von 1 l hier der Werth von 1 d entspräche, womit das Verhältniß ihres Leitungswiderstandes sofort gegeben wäre.

Zweite Methode. Diese Methode ist deshalb vorzüglicher als die vorige, weil bei ihr alle beobachteten Kraftwerthe, die man bei Abänderung der Länge des Schließungsdrahtes und des Abstandes der Metallplatten erhält (nicht bloß die coincidirenden), zur Ziehung eines Mittelwerthes benutzt werden können. Sie beruht darauf, daß man in jeder der Flüssigkeiten, deren Leitungswiderstand man erfahren will, Versuchsreihen, wie die so eben angeführte, anstellt, darauf nach der Formel (2) S. 401 erst den Werth von 1 l als Mittel aus sämmtlichen Beobachtungen, dann nach der für den Abstand der Platten in der Flüssigkeit geltenden Formel (4) S. 407

den Werth von 1 d berechnet (indem man dabei $A = 1$ setzt), und nun in jeder Flüssigkeit den so erhaltenen Werth von l mit dem so erhaltenen Werthe von d vergleicht *).

Durch Versuche, nach dieser Methode angestellt, habe ich nicht nur gefunden, daß der Widerstand der Flüssigkeiten unabhängig von Beschaffenheit der Metallplatten, die man darein schließt, ist, was bisher noch Zweifeln unterworfen war, sondern auch mehrere Flüssigkeiten direct hinsichtlich ihres Leitungswiderstandes verglichen. Folgendes ist eine Zusammenfassung meiner hauptsächlichsten Resultate in diesem Bezuge (Maßbestimmungen S. 43). Es sei darin $U = \frac{1}{83}$ Volumtheil. Die Leitungswiderstände sind alle auf dieselbe unbestimmte Einheit bezogen:

| | | Leitungswiderstand. |
|---|---|---|
| Brunnenwasser . . . . . . | (Zinnzink) | 3,176 |
| Wasser mit $\frac{1}{64}$U Salzsäure von 1,096 spec. Gew. . . . . . | (Zinnzink) | 2,23 |
| . . $\frac{1}{16}$U Salzs. v. 1,096 spec. Gew. | (desgl.) | 1,23 |
| . . $\frac{1}{8}$U . . . . . . . | (desgl.) | 0,631 |
| . . $\frac{1}{4}$U . . . . . . . | (desgl.) | 0,385 |
| . . $\frac{1}{2}$U . . . . . . . | (desgl.) | 0,212 } |
| . . $\frac{1}{2}$U . . . . . . . | (Zinnkupfer) | 0,234 } |
| . . $\frac{1}{2}$U . . . . . . . | (Zinkkupfer) | 0,221 } |
| | | 0,223 |
| . . 1U . . . . . . . | (Zinnzink) | 0,111 } |
| . . 1U . . . . . . . | (Zinnkupfer) | 0,108 } |
| | | 0,110 |
| . . 1U concentr. Salmiaklösung | (Zinkkupfer) | 0,342 } |
| . . 1U . . . | (Zinnzink) | 0,357 } |
| | | 0,350 |
| . . $\frac{1}{4}$U Salpeters. v. 1,144 sp. Gew. | (Zinnzink) | 0,451 } |
| . . $\frac{1}{4}$U Schwefels. v. 1.096 sp. Gew. | (desgl.) | 0,415 } |

*) Eigentlich kann man auf solche Weise nur das Verhältniß von $\frac{1}{A}$ zu $\frac{d}{A}$ finden, und weil manche Flüssigkeiten verändernd auf A wirken (vgl. S. 362), so darf man nicht den in einer Flüssigkeit gefundenen Werth von $\frac{1}{A}$ sofort auch für eine andere Flüssigkeit gültig ansehen. Fände dieser Umstand nicht Statt, so reichte es hin, bloß in Einer Flüssigkeit die schließenden Drahtlängen abzuändern, und dann den so erhaltenen Werth von l oder $\frac{1}{A}$ bei den anderen zu Grunde zu legen.

Drückt man den Widerstand des Brunnenwassers durch $\frac{1}{0,3147}$ aus, so erhält man die Werthe des Widerstandes für die sämmtlichen Zusätze von Salzsäure sehr nahe wieder, wenn man für jeden Zusatz von $\frac{1}{64}$ U den Divisor um 0,1341 vermehrt. In der That ergiebt die Zusammenstellung der beobachteten mit den berechneten Werthen dann:

| | Beobachteter Werth. | Berechneter Werth. |
|---|---|---|
| Brunnenwasser ohne Salzsäure | 3,18 | 3,18 |
| . mit $\frac{1}{64}$ U Salzsäure | 2,23 | 2,23 |
| . . $\frac{1}{16}$ U . | 1,23 | 1,17 |
| . . $\frac{1}{8}$ U . | 0,631 | 0,620 |
| . . $\frac{1}{4}$ U . | 0,385 | 0,406 |
| . . $\frac{1}{2}$ U . | 0,223 | 0,216 |
| . . 1 U . | 0,110 | 0,112 |

Ungeachtet die Methoden, welche bloß zur unmittelbaren Vergleichung der Wirkungen der Ketten bei Schließung durch verschiedene Flüssigkeiten führen, erörtermaßen zur Ausmittelung des wahren Leitungsvermögens der Flüssigkeiten untauglich sind, so ist ihnen doch ihr Nutzen in anderer Hinsicht nicht abzusprechen, insofern sie eine praktische Andeutung geben können, welche Flüssigkeiten die wirksamsten Ketten liefern. Nur sollte man künftig mehr Acht darauf haben, nicht bloß ihre Wirksamkeit zu Anfange zu vergleichen, sondern auch auszumitteln, in welchen Flüssigkeiten die Wirkungsabnahme am langsamsten von Statten geht; denn ich habe gefunden, daß die Wirkungsabnahme in verschiedenen Flüssigkeiten keineswegs in Verhältniß ihrer anfänglichen Wirkung steht, sondern außer von der Construction der Kette in ihren übrigen Theilen noch sehr wesentlich von der individuellen Beschaffenheit jeder Flüssigkeit abhängt, wie denn z. B. die anfangs so wirksame Zinkvitriollösung in Hinsicht der Dauer der Wirksamkeit unendlich in Nachtheil gegen die, nach meinen Versuchen übrigens die Zinkvitriollösung (bei gleicher Verdünnung) selbst zu Anfange an Wirksamkeit etwas übertreffende, Kupfervitriollösung steht. (Vergl. das Kapitel von der Wirkungsabnahme.) Jedenfalls mögen in Bezug auf jenen Nutzen solcher Versuche hier noch die Resultate der Beobachtungen Pfaff's (Schweigg. LV. 258.) folgen.

Pfaff verfuhr hiebei so, daß er in die Kette eines einfachen Zink-Kupferpaares, welches sich in einem Troge mit Kochsalzauflösung befand, einen Multiplicator und eine Zelle brachte, in welcher die Flüssigkeit, deren Leitungsvermögen gemessen werden sollte, sich zwischen vergoldeten Messingplatten befand, so daß der Strom folgenden Weg zu durchlaufen hatte: Zink, Kochsalzlösung, Kupfer, Multiplicator, Gold, Flüssigkeit, Gold, Zink. Die Zelle mit den Goldflächen war stets zu gleicher Höhe mit der Flüssigkeit angefüllt und ihr Leitungsvermögen wurde nach dem (in der

folgenden Tabelle beigefügten) Grade der Ablenkung der Magnetnadel bestimmt, wenn sie nach mehreren Oscillationen zur Ruhe gekommen war. Die angewandten Salzauflösungen waren vollkommen gesättigt für die mittlere Temperatur, bei welcher experimentirt wurde.

| | |
|---|---|
| Destillirtes Wasser | ½°. |
| Essigsaures Blei | 3—4°. |
| Salzsaures Blei | 5. |
| Schwefelsaures Kali | 5. |
| Salpeter | 5. |
| Salzsaurer Kalk | 5. |
| Schwefelsaures Natron | 5. |
| Chlorsaures Kali | 7. |
| Schwefelsaures Mangan | 8. |
| Essigsaures Natron | 10. |
| Brechweinstein | 10. |
| Borax | 10. |
| Benzoësaures Kali | 10—11°. |
| Weinsteinsaures Kali | 10. |
| Salzsaures Mangan | 10—11°. |
| Kohlensaures Kali und Natron | 11. |
| Essigsaures Kali | 12. |
| Eisenvitriol | 12. |
| Salpetersaures Blei | 12. |
| Kleesaures Kali | 13. |
| Ammoniakflüssigkeit von 980 spec. Gew. | 15. |
| Weinsteinsäure | 15. |
| Salzsaures Zinnoxydul | 20. |
| (in einem andern Versuche nur | 10). |
| Alaun | 20. |
| Kupfervitriol | 20. |
| Zinkvitriol | 22. |
| Verdünnte Phosphorsäure | 23. |
| Starker Weinessig | 25. |
| Englische Schwefels. mit 4 Theilen Wasser verdünnt | 28. |
| Salpetersaures Quecksilberoxyd | 30. |
| Concentrirte englische Schwefelsäure (1848) | 30—32. |
| Salpetersaures Silber (nicht vollkommen gesättigt) | 35. |
| Salmiak. | |
| Verdünnte Salpetersäure | 42. |
| Salzsaures Eisenoxyd | 42. |
| Salzsaures Platin | 45. |
| Verdünnte Salzsäure (1090) | 50. |

Pfaff stellte auch einige Versuche auf solche Weise an, daß er beobachtete, bis zu welcher Höhe verschiedene Flüssigkeiten zwischen den Gold-

platten stehen müßten, um eine gleiche Wirkung auf die Magnetnadel zu äußern, wobei er folgende Resultate erhielt:

Zinkvitriol brachte bei einer 40mal geringern Höhe in der Zelle eine eben so starke Wirkung hervor, als essigsaures und salzsaures (?) Blei. — Wasser, welches $\frac{1}{800}$ Salmiak enthielt, zeigte sich eben so wirksam als destillirtes Wasser bei einer 30mal geringern Höhe, und wirkte ungefähr eben so stark als Wasser, welches $\frac{1}{200}$ Kochsalz enthielt. — Salzsäure wirkte eben so kräftig als Zinkvitriol bei einer 8mal geringern Höhe.

Ich könnte auch noch in demselben Bezuge als die hier angeführten Versuche diejenigen, zugleich die Wirkungsabnahme betreffenden, Versuche, welche in meinen Maßbestimmungen S. 214 und 216 tabellarisch vereinigt sind, so wie einige Versuche von Bigeon in den Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 86 anführen; indeß scheint mir, daß es nicht der Mühe lohnt, vereinzelte Beobachtungen anzuführen, da nur von zusammenhängenden Beobachtungsreihen hier eine Frucht zu erwarten steht.

### E. Vom Widerstande des Überganges.

Schon Ritter und später de la Rive und Marianini machten darauf aufmerksam, daß, wenn die Leitungsflüssigkeit einer Kette durch homogene Zwischenplatten oder Zwischenbogen unterbrochen wird, eine Schwächung des Stromes hieraus hervorgeht, die auf eine Schwierigkeit des Überganges der Elektricität zwischen festen und flüssigen Leitern geschrieben ward. Da jedoch andererseits bekannt ist, daß jede anfangs homogene Zwischenplatte in einer wirksamen Kette allmälig selbst gleichsam ein wirksames Plattenpaar wird, indem sie durch Annahme der sogenannten Ladung sich in eine positive und eine negative Seite theilt, welche den Erregern der ursprünglichen Kette gerade entgegengesetzt angeordnet sind, so ließ sich als möglich denken, daß die von jenen Beobachtern wahrgenommene Schwächung der Kette von dieser im Laufe der Schließung eingetretenen elektromotorischen Entgegensetzung abhing, da ihre Versuche sämmtlich nicht in der Art angestellt oder beschrieben waren, daß man hätte sicher sein können, sie beziehen sich wirklich auf die allererste Periode der Kette, ja der in der That erst im Fortgange der Schließung eintretende Umstand, den sie sämmtlich aussagen, daß die Schwächung stärker bei Kupfer- als bei Zink-Zwischenplatten erschienen sei, beweist sogar, daß sie wirklich bloß mit späteren Wirkungsperioden der Kette zu thun hatten.

Ich stellte deshalb von Neuem Versuche der Art an, daß ich einfache Ketten ohne Zwischenbogen mit solchen, in welche Zwischenbogen, bei übrigens völlig gleichen Umständen, eingeschoben waren, für den ersten Augenblick nach der Schließung verglich (Maßbestimmungen Versuche 79. bis 83.) und es gab sich in der That auch hier unzweideutig eine Schwächung zu erkennen, die besonders stark in Brunnenwasser, minder stark in saurem Wasser, gleich für Zink- und für Kupferzwischenbogen war, und

die nicht von einer Änderung der elektromotorischen Gesammtkraft abhängig gemacht werden konnte, welche sich vielmehr bei der Kette mit und ohne Zwischenbogen gleich zeigte. Es blieb sonach nichts übrig, als hier wirklich einen Widerstand in der Berührungsgränze der festen und flüssigen Leiter anzunehmen, der, wenn wir die Vorstellung einer in der Kette wirklich strömenden Elektricität beibehalten wollen, von einer Schwierigkeit des überganges zwischen beiden ungleichartigen Leitern abhängig zu machen scheint; der sich jedoch im Fortschritte der Schließung mit Änderungen der elektromotorischen Gesammtkraft complicirt, herrührend von der auf den Zwischenbogen eintretenden Ladung.

Wenn nun ein solcher Widerstand für eingeschobene Zwischenbogen nachgewiesen war, so konnte für wahrscheinlich gehalten werden, daß er auch in der Berührungsgränze der Flüssigkeit mit den Erregerplatten selbst Statt finde. Daß dem so sei, läßt sich für spätere Wirkungperioden der Kette sehr leicht nachweisen. Denn man findet hier öfters, daß der Widerstand des Schließungsdrahtes so wie der Flüssigkeit fast verschwindet im Gesammtwiderstande, d. h. man kann Drahtlänge und Abstand der Platten in ziemlich großem Verhältnisse vervielfachen oder verkleinern, ohne daß die Kraft bedeutend ab= oder zunimmt, wozu u. a. in den Versuchsreihen 93. und 94. meiner Maßbestimmungen mehrere Belege aufgesucht werden können. Hier muß also ein dritter Widerstand vorhanden sein, gegen den beide merklich verschwinden.

Jedoch nicht allein für spätere Wirkungsperioden ist dieser Widerstand nachweisbar; er giebt sich auch auf die unzweideutigste Weise für den ersten Anfang der Schließung zu erkennen; da man auch hier stets einen Rest findet, wenn man den Widerstand des Drahtes und der Flüssigkeit vom Gesammtwiderstande abzieht. So wird man, wenn man in der Versuchsreihe S. 410, welche mit einer einfachen Zinkkupferkette von 9 Quadratzoll Oberfläche jeder Platte in Brunnenwasser angestellt ward, den Widerstand der Flüssigkeit und des Drahtes, der bei 1l und 1d*), wie sich nach den gegebenen Formeln berechnen läßt, zusammen 0,09543 betrug (die elektromotorische Kraft = 1 gesetzt), vom Gesammtwiderstande abzieht, einen Rest = 0,0736, und für die höheren Leitungswiderstände von 1d 361 an merklich constant 0,1082 finden **). Andere Belege hierzu kann man in meinen Maßbestimmungen Versuche 10. bis 12., 91. bis 95. aufsuchen.

Diesen Umstand von Irrthümern der Beobachtung abhängig machen zu wollen, ist unmöglich, da er sich constant zu erkennen giebt und einen zu großen Werth hat, um bei der übrigen Übereinstimmung der Resultate,

*) Unter 1l ist Schließung bloß durch den Multiplicatordraht, unter 1d ein Abstand der Metallplatte = 4 Decimallinien verstanden.

**) Wie schon S. 407 erwähnt, springt der Übergangswiderstand bei höheren Werthen in die Kette gebrachten Leitungswiderstandes häufig auf andere Stufenwerthe über. Hier scheint der höhere Stufenwerth das $1\frac{1}{2}$fache vom niedrigern zu betragen. (Vergl. meine Maßbestimmungen S. 38).

welche das angewandte Maßverfahren gewährt, hierdurch erklärlich zu werden; er kann auch nicht, wo er zu Anfange beobachtet wird, auf Rechnung einer schon Statt gefundenen Wirkungsabnahme während der Zeit der Messung geschrieben werden; da die Ketten, mit welchen die Versuche angestellt wurden, von der Art waren, daß eine solche während dieser Zeit nicht in Betracht kam; endlich behält jener Rest, wenn man ihn aus verschiedenen Beobachtungen derselben Versuchsreihe berechnet, einen zu constanten Werth, — abgesehen von den Sprüngen, welche eintreten, wenn man gewisse Gränzen des Leitungswiderstandes überschreitet —, als daß es sich hier nur um etwas von zufälligen Umständen Abhängiges handeln könnte. Ich halte mich durch diese Umstände für berechtigt, den Widerstand des Überganges wirklich als etwas Thatsächliches festzustellen.

Meine Versuche darüber führen zu folgenden näheren Bestimmungen über denselben:

1) Derselbe steht genau im umgekehrten Verhältnisse der erregenden Oberfläche (Maßbestimmungen Versuch 58. A. bis C.; Versuche 45. und 46).

2) Er nimmt im Verfolge der Wirkungsabnahme der Kette immer mehr zu (Maßbestimmungen Versuch 40., 41., 91. bis 95.).

3) Er nimmt ab mit der Quantität saurer Materie, die man in eine Flüssigkeit hinzufügt (Maßbestimmungen Versuche 10. bis 11.), und kann, wenn er im Verfolge der Wirkungsabnahme zu einem gewissen Grade gediehen ist, durch Hinzufügung neuer Säure zur Leitungsflüssigkeit wieder vermindert werden (Maßbestimmungen Versuch 91.). Wahrscheinlich hängt er überhaupt von dem Verhältniß ab, in welchem die Flüssigkeit chemisch auf die Metalle einzuwirken vermag; doch fehlt es hierüber noch an einer hinreichenden Zahl von Versuchen, um diesen Satz mit Zuverlässigkeit als durchgängig gültig aussprechen zu können.

4) Er ist zu Anfange der Schließung gleich für die positive und negative Platte, wird aber im Fortgange der Wirksamkeit größer für die letztere, als für die erstere.

Dieser Umstand folgt aus nachstehenden Umständen: Für den Anfang der Schließung bewirken nach meinen sorgfältigen Versuchen (Maßbestimmungen Versuche 79., 84.) kupferne Zwischenbogen keine größere Schwächung der Kette als solche von Zink; ferner ist es für den Anfang der Schließung, ebenfalls nach meinen Versuchen (Maßbestimmungen Versuch 60., 61.) gleichgültig, ob man einer großen Kupferplatte eine kleine Zinkplatte entgegensetzt, oder ob man umgekehrt verfährt. Im Fortgange der Schließung aber nimmt, wie schon durch frühere Versuche bekannt war, und von mir durch messende Versuche bestätigt worden ist, die Wirkung der Kette durch Verkleinerung der erregenden Kupferfläche mehr ab, als durch Verkleinerung der erregenden Zinkfläche in gleichen Verhältnissen (Maßbestimmungen Versuch 64.).

5) Der gesammte Übergangswiderstand eines Plattenpaares Zink-Kupfer ist gleich der Summe des Übergangswiderstandes auf Zink und des Übergangswiderstandes auf Kupfer (Maßbestimmungen S. 101).

6) Der Übergangswiderstand ist zu Anfange der Schließung für Plattenpaare aus Zink-Kupfer, Zink-Zinn und Zinn-Kupfer bei übrigens gleichen Umständen merklich gleich, mindestens in sauerm Wasser.

7) Der Übergangswiderstand hat eine besondere Neigung, bei Änderungen im Leitungswiderstande oder in der elektromotorischen Kraft auf andere Stufen überzuspringen, was zwar schon in sauerm Wasser, noch auffallender aber in der Regel in Brunnenwasser, bemerklich wird. Schon S. 407 u. 415 haben wir Beispiele hievon mitgetheilt und in einem besondern Artikel wird noch näher von diesen Sprüngen die Rede sein.

Es verdienen in Bezug auf diesen Übergangswiderstand noch folgende zwei interessante Versuche von de la Rive *) eine Anführung.

a) Bringt man, in völlig ähnlichen Röhren, vollkommen reine Schwefelsäure und Salpetersäure nach einander, mittelst Platindrähten von gleicher Länge und Dicke, in den Kreis der Volta'schen Säule, so findet man, daß bei der Schwefelsäure eine schwächere Wirkung Statt findet, und daß sich diese größere Schwächung durch eine Verkürzung des Weges in der Schwefelsäure weder compensiren, noch sonst merklich verändern läßt. Wenn man aber die Platindrähte, vor dem Eintauchen in die Schwefelsäure, mit Salpetersäure benetzt, so ist die Wirkung in beiden Fällen fast gleich, wenigstens so lange, als eine Schicht von Salpetersäure die Platindrähte umgiebt.

b) Wenn man zwei Streifen von Platin, deren einer mit dem positiven, der andere mit dem negativen Pole einer Kette in Verbindung steht, in ein gemeinschaftliches Gefäß mit saurer Flüssigkeit tauchen läßt (die solchergestalt die Schließung zwischen ihnen bewirkt), so entsteht eine Erhöhung der Strömungswirkung, wenn man den negativen Streifen sehr nahe an dem eingetauchten Ende mit einer Weingeistlampe stark erhitzt; dagegen bei Erhitzung des positiven Streifens keine Verstärkung Statt findet. Der Verfasser überzeugte sich, daß die verstärkende Wirkung im ersten Falle nicht von der Erhitzung der gesammten Masse der Flüssigkeit herrührte; denn auch wenn diese Masse so groß war, daß ihre Temperatur beinahe constant blieb, wurde das angegebene Resultat erhalten. Erhitzt man den positiven und negativen Streifen gleichzeitig, so ist das Resultat dasselbe, als wenn bloß der negative Streifen erhitzt würde.

## F. Erregende Oberfläche.

Unter erregender Oberfläche wird bekanntlich der Theil der metallischen Erregerplatten verstanden, der mit der Leitungsflüssigkeit in Berührung ist.

*) Pogg. XV. 108. 138.

Das Gesetz, nach welchem die Kraft einer einfachen Kette mit Vergrößerung der erregenden Oberfläche zunimmt, kann durch meine Versuche als vollständig ausgemittelt angesehen werden. Es ist einschließlich in folgender Formel enthalten:

$$K = \frac{A}{\frac{O}{m} + c''} \text{ oder } K = \frac{mA}{O + mc''} \qquad (5)$$

Hierin bedeutet K die Kraft der Kette, A die elektromotorische Kraft, O die Einheit der erregenden Oberfläche, m das angewandte Vielfache der erregenden Oberfläche, c″ eine bei Abänderung der erregenden Oberfläche constant bleibende Größe, welche, wie meine Versuche gezeigt haben, den Widerstand des Schließungsdrahtes, und, wofern bei Veränderung der erregenden Oberfläche der Querschnitt der Flüssigkeit constant bleibt, auch den Widerstand der Flüssigkeit repräsentirt *). Diese Formel gilt nicht nur für gleichzeitige Abänderung beider erregenden Oberflächen (Kupfer und Zink), sondern scheint sich auch auf den Fall zu erstrecken, wenn bloß Eine von beiden (Kupfer oder Zink) abgeändert wird, während die andere constant bleibt; nur tritt in letztem Falle auch der constant bleibende Theil des Übergangswiderstandes in die Größe c″ hinein. Diese Formel gilt desgleichen für die Verbindung mehrerer Säulen mit den gleichnamigen Polen.

Versuche, welche zum Beweise der Gültigkeit dieser Formel angestellt werden sollen, müssen unter besonderen, in der Natur dieser Versuche selbst gegründeten, Vorsichtsmaßregeln angestellt werden, die ich in meinen galvanischen Maßbestimmungen genau mitgetheilt habe, und deren Vernachlässigung unstreitig Ursache gewesen ist, daß frühere Versuche (z. B. von Pohl), so wie einige neue von Bigeon **), keine mit jener Formel übereinstimmende Resultate gegeben haben. Ich selbst habe dieselben durch

*) Die Größe der erregenden Oberfläche kann nämlich entweder so abgeändert werden, daß man einen Trog, in dessen Seitenfugen sich ein Plattenpaar eingesetzt findet, bis zu verschiedener Höhe mit Flüssigkeit füllt. In diesem Falle nimmt der Querschnitt der Flüssigkeit in demselben Verhältnisse als die erregende Oberfläche zu, und Übergangswiderstand und Leitungswiderstand der Flüssigkeit nehmen gleichzeitig, und nach demselben Verhältnisse mit Vergrößerung der erregenden Oberfläche, ab. Hier repräsentirt die constante Größe c″ bloß den Widerstand des schließenden festen Leiters (vorausgesetzt, daß in diesen nicht ein flüssiger, z. B. eine Röhre oder Zelle mit Flüssigkeit eingeschaltet ist). Dieser Anordnung äquivalent ist der Fall, wo die Größe der erregenden Oberfläche dadurch abgeändert wird, daß man mehr oder weniger in verschiebenen Zellen enthaltene einzelne Plattenpaare zu einer gemeinsamen erregenden Oberfläche verbindet, indem sich dann nicht nur die erregenden Oberflächen, sondern auch die Querschnitte der Flüssigkeiten zwischen ihnen gleichzeitig summiren. Die Größe der erregenden Oberfläche kann aber auch so abgeändert werden, daß der Querschnitt der Flüssigkeit dabei constant bleibt, so wenn man von mehreren, in einem weiten Troge neben einander stehenden, metallisch verbundenen Plattenpaaren successiv eins oder mehrere aus der Kette läßt. In diesem Falle tritt auch der Leitungswiderstand der Flüssigkeit in den constanten Theil c″ hinein.

**) Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 83 oder Baumg. Zeitschr. IX. 493.

zu viele abgeänderte und mit aller Sorgfalt angestellte Versuche bestätigt gefunden, als daß an ihrer Richtigkeit ein Zweifel bleiben könnte. Von diesen Versuchen (Maßbestimmungen Versuche 40. bis 50.) will ich bloß folgende zwei mittheilen.

Erster Versuch *). Sechs Plattenpaare Zink-Kupfer in 6 verschiedenen Zellen eines Troges stehend, waren zu einer gemeinschaftlichen erregenden Oberfläche verbunden **). Die Größe jeder Platte war 9,31 par. Decimal-Quadratzoll. Die Flüssigkeit Kochsalzlösung. Die Prüfung der Kraft ward in verschiedenen successiven Perioden der Wirkungsabnahme wiederholt, indem jedesmal eine Plattenpaar nach dem andern aus der Kette herausgelassen ward.

| Wirkungs-periode. | Anzahl der mit einander verbundenen Oberflächen. | Beobachtete Kraft. | Berechnete Kraft. | Werthe von c″ und O, für A = 1. |
|---|---|---|---|---|
| I. | 6 | 7,351 | 7,35 | c″ = 0,0446 |
| | 1 | 1,686 | 1,69 | O = 0,5479 |
| II. | 6 | 5,393 | 5,39 | |
| | 4 | 3,894 | 3,89 | c″ = 0,0423 |
| | 2 | 2,133 | 2,12 | O = 0,8558 |
| III. | 6 | 4,960 | 4,96 | |
| | 5 | 4,284 | 4,28 | c″ = 0,0432 |
| | 4 | 3,542 | 3,56 | |
| | 2 | 1,762 | 1,92 | O = 0,9503 |
| | 1 | 1,027 | 1,00 | |
| IV. | 6 | 4,117 | 4,13 | |
| | 5 | 3,542 | 3,54 | c″ = 0,0429 |
| | 4 | 2,901 | 2,93 | |
| | 3 | 2,262 | 2,27 | |
| | 2 | 1,543 | 1,56 | O = 1,1952 |
| | 1 | 0,812 | 0,808 | |

Wie man sieht, bleibt die Größe c″ in allen successiven Wirkungsperioden merklich constant, während O immer mehr zunimmt, was auf der Zunahme des Übergangswiderstandes beruht.

*) Maßbestimmungen S. 65.

**) Durch besondere, in meinen Maßbestimmungen (Versuche 56. und 57.) enthaltene, Versuche überzeugte ich mich, daß zwei erregende Oberflächen, jede von der Größe O, in gesonderten Zellen, die aber zu einer einzigen Oberfläche verbunden sind, einer einfachen erregenden Oberfläche von der Größe 2O in einer einzigen Zelle äquivalent wirken.

Zweiter Versuch *). Bei diesem Versuche wurde zugleich die Länge des Schließungsdrahtes abgeändert. Er wurde auf ähnliche Weise als der vorige Versuch in schwefelsaurem Wasser angestellt. 11 bedeutet die einfache Länge des Schließungsdrahtes. Die oberen Zahlen in der nachfolgenden Versuchstabelle sind die beobachteten, die unteren die berechneten Zahlen **).

| | 71 | 31 | 11 | Werth von c″ und O für A = 1. |
|---|---|---|---|---|
| 40 | 4,63 / 4,67 | 6,60 / 6,52 | 8,19 / 8,16 | c″ = 71 = 0,1068 |
| 30 | 3,97 / 4,00 | | | O = 0,429 |
| 20 | 3,01 / 3,12 | | | |
| 10 | 1,87 / 1,87 | | | |

Hinsichtlich anderer Versuche, welche Säulen betreffen, die mit ihren gleichnamigen Polen vereinigt werden; oder einfache Ketten in weiten Trögen, oder Abänderungen entweder bloß der Zink- oder der Kupferoberfläche verweise ich auf meine galvanischen Maßbestimmungen (vergl. die Übersicht darin S. 238).

Es erhellt sowohl aus der Formel, als aus den vorstehenden Versuchen, daß die Kraft der Kette im Allgemeinen in einem kleinern Verhältnisse als dem der erregenden Oberfläche zunimmt; indeß leuchtet ein, daß, im Fall die Größe c″, d. h. der Widerstand des Schließungsdrahtes (und bei ungeändert bleibendem Querschnitt der Flüssigkeit zugleich der Widerstand der Flüssigkeit), sehr klein ist, so kann die Kraft der Kette bis zu gewissen Gränzen in merklich gleichem Verhältnisse mit der Vergrößerung der erregenden Oberfläche zunehmen. Solche Beispiele wird man viele in meinen Maßbestimmungen finden. (Maßbestimmungen Versuche 44., 46. III., 47., 53., 75., 96. G. a). Andererseits aber leuchtet nach derselben Formel ein, daß man bei immer weiter getriebener Vergrößerung der erregenden Oberfläche (d. h. bei Vergrößerung von m) zuletzt stets eine Gränze finden muß, über die hinaus weitere Vermehrung derselben die Kraft nicht mehr merklich wachsen läßt, und auch dies wird durch specielle Versuche in meinen

*) Maßbestimmungen S. 75.

**) Diese Versuchsreihe zeigt, daß die Größe c″ die Länge des angewandten Schließungsdrahtes wirklich repräsentirt, denn sie wird merklich gleich der Größe 71, nach der Formel (2) S. 401 berechnet, gefunden.

Maßbestimmungen (Versuch 69.) bestätigt. Diese Gränze wird um so eher erreicht, je größer der Widerstand des Schließungsdrahtes ist.

Man wird über diese Umstände noch nähere Bestimmungen in meinen Maßbestimmungen S. 238 ff. finden, die ich, um nicht zu weitläufig zu werden, hier übergehe, um so mehr, da sie größtentheils einfache Folgerungen der gegebenen Formel sind.

Dagegen wollen wir noch Einiges über den Fall anführen, wenn die positive und negative Fläche nicht gleichzeitig oder nicht in gleichem Verhältnisse abgeändert werden, worüber meine Versuche zu folgenden Bestimmungen führen.

1) Für den Anfang der Schließung ist es gleichgültig, ob eine größere positive Fläche gegen eine kleinere negative angewandt wird, oder umgekehrt. (Maßbestimmungen Versuche 60., 61., 73., 96. E. F., 97. i. bis m., 98. f. bis n., 119., 120).

2) Die Wirkung der Kette nimmt schneller ab, wenn eine größere positive gegen eine kleinere negative Fläche angewandt wird, als im umgekehrten Falle (Maßbestimmungen Versuche 96. E. F., 119., 120, Tabelle auf S. 215).

Dies Resultat wurde von mir constant im Brunnenwasser sowohl, als in saurem Wasser gefunden. Nach einem Versuche Ohm's jedoch (Schweigg. LX. 51.) verhält sich dies anders in concentrirter Schwefelsäure.

Derselbe brachte in concentrirte Schwefelsäure die an das eine Ende des Multiplicators gelöthete Kupferplatte von $\frac{1}{2}$ Quadratzoll Oberfläche, und schloß die Kette mit Zink von $\frac{1}{2}$ Quadratlinie Oberfläche, welches an das andere Ende des Multiplicators angelöthet worden war. Die Abweichung der Multiplicatordoppelnadel sank in kurzer Zeit noch unter 4° herab. Als hingegen Ohm in dieselbe Säure und auf dieselbe Weise eine Zinkplatte von $\frac{1}{2}$ Quadratzoll Oberfläche brachte und die Kette mit Kupfer von $\frac{1}{2}$ Quadratlinie schloß, zeigte die Nadel nach viel längerer Zeit noch 63° und selbst nach Ablauf von 20 Minutrn noch 50° an.

3) Dieser Unterschied ist, wenigstens in saurem Wasser, noch auffallender für Zinn-Kupfer als für Zink-Kupfer. (Maßbestimmungen Versuch 120).

4) Im Fortgange der Schließung wird die Kraft weniger durch Verminderung der positiven, als der negativen Fläche geschwächt (Maßbestimmungen Versuche 64. I. bis IV.), ja man kann, zumal bei Zinn-Kupfer, leicht auf einen Punct kommen, wo die Kraft sich kaum merklich mehr bei Änderung der positiven Fläche ändert, während sie zur selben Zeit merklich in geradem Verhältnisse der Verkleinerung bloß der negativen Fläche abnimmt. (Maßbestimmungen Versuche 76. und 77.)

5) Eine Kette, in welcher einer Platte Zink von beiden Seiten zwei gleiche Kupferplatten, oder umgekehrt (KZK oder ZKZ) in einem gewissem Abstande gegenüberstehen (wie bei der Wollastonschen Platte), wirkt

im Anfange der Schließung ganz genau so stark, als wenn zwei Platten Zink zweien Platten Kupfer bloß von Einer Seite in demselben Abstande gegenüberständen (2KZ), so daß man also durch jene Anordnung eine Platte Einer Art ersparen kann (Maßbestimmungen Versuche 60., 61., 73.).

6) Setzt man die Abwechselung positiver und negativer Platten nach dem Schema KZK, KZKZ u. s. w. noch weiter fort, so findet sich für den Anfang der Schließung genau, daß:

KZK = ZKZ = 2KZ
KZKZ = 3KZ
KZKZK = 4KZ
KZKZKZ = 5KZ

(Maßbestimmungen Versuche 60. bis 62.).

7) Wenn man einer positiven Fläche einerseits eine aus positivem und negativen Metalle zugleich bestehende Fläche andererseits gegenübersetzt, so ist diese Anordnung zu Anfange der Schließung der umgekehrten Anordnung äquivalent, wo nämlich eine bloß negative Fläche einerseits einer aus positivem und negativen Metalle zugleich bestehenden Fläche andererseits bei übrigens gleichen Verhältnissen entgegengesetzt wird (Maßbestimmungen Versuch 73.). Im Fortgange der Schließung dagegen erhält die zweite Anordnung bei weitem das Kraftübergewicht über die erste (Maßbestimmungen 74. bis 78.). In meinen Maßbestimmungen S. 117 sind noch einige nähere Bestimmungen, die nicht ohne Interesse sind, über gewisse Verhältnisse dieser Combinationen angegeben.

Bei Gelegenheit dieser Resultate scheint mir auch folgender Versuch von Marianini *) Erwähnung zu verdienen:

Man stelle eine Kupferplatte in ein Gefäß, eine Zinkplatte, die mit jener durch den Multiplicator verbunden ist, in ein anderes Gefäß, die beide mit Wasser gefüllt sind, und verbinde das Wasser beider Gefäße durch ein Blatt von Zinn oder anderm Metalle, das sich in einen schmalen Streifen oder Schwanz endigt, und zwar so, daß das Blatt, von beiläufig 18 bis 20 Quadratcentimeter Oberfläche, in das eine, der Schwanz in das andere Gefäß taucht, ohne jedoch die Erregerplatten zu berühren. Ist die Anordnung so, daß der Schwanz sich im Gefäße der positiven, das Blatt im Gefäße der negativen Platte befindet, so wird die Ablenkung nur wenig Grade betragen; ist dagegen die umgekehrte Anordnung getroffen, so wird ein weit beträchtlicherer Effect Statt haben **).

Alles Vorige betraf bloß die Abhängigkeit der Wirkung von der Größe der erregenden Oberfläche. Einige Versuche über den Einfluß ihres mehr oder

*) Ann. de Ch. et de Phys. XLII. 143.

**) Unstreitig möchte sich auch hier die Differenz erst im Laufe der Schließung ausbilden. F.

minder ebenen Zustandes hat Bigeon *) angestellt, die wir hier anführen wollen, obgleich wir weit entfernt sind, ihnen großes Gewicht beizulegen: da der Verfasser nicht angeführt hat, ob die Metallplatten nicht schon vorher, ehe ihre Oberfläche modificirt worden war, Wirkungsdifferenzen zeigten. Solche Versuche erfodern, um beweisend zu sein, sehr große Vorsicht, und können nicht so schlechthin mit den ersten besten Platten angestellt werden. Der Verfasser wandte fünf Platten von Kupfer (unstreitig von gleicher Größe und zugleich mit Zink), an: Nr. 1. blieb eben; Nr. 2. war mit nahe an einander stehenden Löchern mit vorspringenden Rändern durchbohrt; Nr. 3. war durch zwei Systeme sich kreuzender Parallellinien, die auf der Oberfläche eingegraben waren, in Quadrate abgetheilt; Nr. 4. war durch eine Raspel (râpe) auf der Oberfläche unregelmäßig geritzt; Nr. 5. war ganz dünn, wie Rauschgold (de laiton**) mince, clinquant).

Folgendes waren die, bei drei Versuchsreihen mit verschiedenen Multiplicatoren und verschiedener Leitungsflüssigkeit, mittelst der Drehwage erhaltenen Resultate:

| | Wasser mit $\frac{1}{80}$ Schwefelsäure. | | Wasser mit $\frac{1}{40}$ Salpetersäure. |
|---|---|---|---|
| | Mult. Nr. 1. | Mult. Nr. 2. | Mult. Nr. 3. |
| Nr. 1. Ebene Platte . . . . | 565° | 45° | 315° |
| Nr. 2. In Quadrate getheilte | 650 | 46 | 335 |
| Nr. 3. Mit Löchern durchbohrte | 670 | 50 | 350 |
| Nr. 4. Abgeraspelte . . . . . | 690 | $45\frac{1}{2}$ | 320 |
| Nr. 5. Rauschgold (clinquant) | 450 | 36 | |

Bigeon hat ferner noch untersucht, welchen Einfluß die Neigung der erregenden Oberflächen gegen einander hat, und dabei gefunden, daß die Wirkung mit der Neigung bedeutend abnimmt. Die Versuche wurden (in einem weiten Troge?) folgendermaßen angestellt. Eine der beiden Kupferflächen war mit Wachs überzogen. Das Zink blieb senkrecht auf der Linie, welche die Mittelpuncte der Platten verbunden haben würde, und die Kupferfläche wurde successiv in Neigungen von 0° (parallel), 45° und 90° (senkrecht) dagegen gebracht. Die Leitungsflüssigkeit war säuerliches Wasser. Die Platte hatte 6 Linien Breite und ihr Abstand betrug (beim Parallelismus) 2 Zoll.

Um den Einfluß der Wirkungsabnahme zu beseitigen, wurden abwechselnde Versuche angestellt. Folgendes ist das Resultat:

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 81. oder Baumg. Zeitschr. S. 491.

**) Hiernach scheint die fünfte Platte von Messing gewesen zu sein; vorher aber spricht der Verfasser von fünf Kupferplatten.

| Neigungen. | Anzeige der Drehwage. |
|---|---|
| 0° | 213° |
| 45° | 203° |
| 90° | 193° |
| 45° | 198° |
| 0° | 204° |
| 45° | 196° |
| 90° | 191° |
| 45° | 194° |
| 0° | 197° |
| 45° | 190° |
| 90° | 180° |
| 45° | 189° |
| 0° | 199° |

Mithin im Mittel:

| Neigung | Entsprechende Kraft |
|---|---|
| 0° | 203° |
| 45° | 195° |
| 90° | 188° |

Unstreitig möchte der, mit vermehrter Neigung zunehmende, Abstand der Puncte der Platten von einander den wesentlichsten Antheil an der hiebei erfolgenden Wirkungsabnahme haben.

Endlich hat auch Bigeon, um die Wirkung der Vorderfläche einer Platte im Verhältniß zu der der Zinkfläche auszumitteln, einmal die freie, das anderemal die mit Wachs überzogene Fläche der Kupferplatte der Zinkplatte in 2 Zoll Abstand gegenüber gestellt. Das mittlere Resultat mehrerer Versuche war:

Wirkung bei zugekehrter freier Fläche . . . . . 169
Wirkung bei abgekehrter freier Fläche . . . . . 84

Doch hat dies Verhältniß nichts Absolutes, indem, wenn sich die Platten näher standen, die Wirkung der abgekehrten freien Fläche ein viel kleineres Verhältniß als bei diesem Versuche zur Wirkung der zugekehrten Fläche hatte.

## G. Über Combination der Plattenpaare nach dem Principe der Säule.

Durch Vermehrung der Plattenpaare einer Kette nach dem Principe der Säule tritt ein verstärkendes und schwächendes Element zugleich in die Kette; ein verstärkendes, insofern die elektromotorische Kraft im geraden Verhältnisse der Plattenpaare zunimmt; ein schwächendes, indem das Hineinbringen mehrerer Plattenpaare in die Kette den Widerstand der Flüssigkeit und des Überganges *) in entsprechendem Grade vervielfältigt. Es wird sonach der Zähler (die elektromotorische Kraft) und der Nenner (der Gesammtwiderstand) der Stromkraft durch Vermehrung der Plattenpaare stets zugleich vergrößert, aber der Nenner in kleinerem Verhältnisse, weil die ganze elektromotorische Kraft in geradem Verhältnisse der Plattenpaare wächst, vom Gesammtwiderstande aber nur der Theil desselben, welcher den Plattenpaaren selbst angehört, während der Widerstand des schließenden Leiters ungeändert bleibt. Hierauf beruht die Verstärkung der Kraft durch Vermehrung der Plattenpaare, die begreiflich hiernach verhältnißmäßig um so mehr betragen muß, je mehr der Widerstand des schließenden Leiters in Verhältniß zum Widerstande des Plattenpaares oder der Plattenpaare beträgt, null dagegen seyn muß, wenn dieser Widerstand gegen den Widerstand der Plattenpaare verschwindet. Diese Betrachtung führt überhaupt zu folgenden, durch die Erfahrung bestätigten, Gesetzen:

1) Im Allgemeinen nimmt die Wirkung der Säule in einem geringern Verhältnisse zu, als die Zahl der Plattenpaare, in einem merklich gleichen jedoch dann, wenn der Widerstand der Plattenpaare, und so lange er gegen den Widerstand des schließenden Leiters verschwindet. Belege für ersteren und letzteren Fall zugleich enthalten die Versuchsreihen 65 und 72 meiner Maßbestimmungen.

2) Die Wirksamkeit der Kette nimmt gar nicht durch Vermehrung der Plattenpaare zu, wenn der Widerstand des schließenden Leiters gegen den Widerstand des Plattenpaares oder der Plattenpaare verschwindet, oder wenn der Widerstand des schließenden Leiters in demselben Verhältnisse wächst, als die Zahl der Plattenpaare. Hierher gehörige Fälle bieten u. a. Versuch 70 bis und 118 dar.

3) Wenn auch anfänglich Vermehrung der Plattenpaare eine Verstärkung der Stromkraft hervorbringt, so wird doch bei fortgesetzter Vermehrung diese Verstärkung verhältnißmäßig immer geringer werden, und man wird sich immer mehr einer Gränze nähern, ja sie wirklich merklich erreichen können, von wo an weitere Vermehrung der Plattenpaare nichts Merkliches mehr zur Stromkraft hinzufügt. Das Maximum, das sich solchergestalt durch fortgesetzte Vermehrung der Plattenpaare erreichen läßt, wird

*) Die Summe beider können wir unter dem Namen Widerstand des Plattenpaares oder der Plattenpaare dem Widerstande des schließenden Leiters entgegensetzen.

um so später erreicht werden, je größer der Widerstand des schließenden Leiters in Verhältniß zum Widerstande der Plattenpaare ist (Versuch 65 VI. und S. 105, Versuch 71, 72).

4) Vermehrung der Plattenpaare trägt überhaupt verhältnißmäßig um so mehr zur Verstärkung der Kraft der Kette bei,

a) je größer der Widerstand des schließenden Leiters ist (Versuch 65, 69 bis 72).

b) je geringer der Widerstand der Plattenpaare ist, mithin auch u. a., je besser die Leitungsflüssigkeit ist, welcher Unterschied jedoch um so mehr verschwindet, je größer der Widerstand des schließenden Leiters ist (Versuch 72 B. C.; Vergleichung von Versuch 97 a. c. mit Versuch 98 b. d.)

c) je früher die Wirkungsperiode der Kette ist (Versuch 72 bis).

5) Die genaue Formel für die Wirkungszunahme der Kraft galvanischer Ketten bei Vermehrung der Plattenpaare nach dem Principe der Säule ist:

$$\frac{nA}{nP + c'''} \qquad (6)$$

worin A die elektromotorische Kraft des einzelnen Plattenpaares, n die Zahl der Plattenpaare, P den Widerstand eines einzelnen Plattenpaares, c''' den Widerstand des schließenden Leiters bezeichnet. Zum Belege dienen die Versuche 65 bis 72 meiner Maßbestimmungen.

Es mag genügen, hiervon den Versuch 68 anzuführen, der zwar nur bis auf 4 Plattenpaare ausgedehnt (weiter ausgeführte Versuche s. in den Maßbest.), aber zugleich mit Abänderungen des Schließungsdrahts verbunden ist, und hiermit die Nachweisung in sich schließt, daß die Größe c''' wirklich den Widerstand des Schließungsdrahts repräsentirt:

Kette aus 1 bis 4 Plattenpaaren Zink-Kupfer, die in verschiedenen, nach dem Principe der Säule verbundenen, Zellen enthalten sind. Die Flüssigkeit schwefelsaures Wasser. Die Kräfte werden bei jedesmal erneuerter Schließung mit zuvor aufgefrischten Platten bestimmt. Die Länge des Schließungsdrahts wird von der dreifachen Multiplicatorlänge (3 l) bis auf die 51fache (51 l) abgeändert.

| Schließung bei 51 l | | | Schließung mit einem Plattenpaare. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Zahl der Plattenpaare | Beobachtete Kraft | Berechnete Kraft nach Formel (6) für A = 1, P = 0,0193 c''' = 51 l = 0,28611 | Länge d. Schließungsdrahts | Beobachtete Kraft | Berechnete Kraft nach Formel (2) für A = 1, c = P = 0,0193 l = 0,00561 |
| 1 | 3,33 | 3,27 | 51 l | 3,33 | 3,27 |
| 2 | 6,11 | 6,16 | 29,5 l | 5,29 | 5,42 |
| 3 | 8,77 | 8,72 | 7 | 16,9 | 17,1 |
| 4 | 10'6 | 11,0 | 3 | 27,7 | 27,7 |

Aus den hier gegebenen Gesetzen wird auch leicht der früher für sonderbar gehaltene Umstand erklärlich, warum in thermoelektrischen Ketten ohne eingeschobenen Zwischenleiter die Kraft der Kette mit Vermehrung der Elemente gar nicht zunimmt. Es ist dies nämlich ein Umstand, der ihnen mit hydroelektrischen Ketten vollkommen gemein ist. Gewöhnlich aber hat man hydroelektrische Säulen nicht ohne eingeschobenen Zwischenleiter verglichen, und dies veranlaßte zu dem Glauben, daß jener, zuerst bei thermoelektrischen Ketten beobachtete, Umstand etwas ihnen Eigenthümliches sey.

## H. Über Zwischenbogen oder Zwischenplatten in der Kette.

Meine Versuche *) darüber führen zu folgenden Bestimmungen:

1) Wenn die Flüssigkeit einer Kette durch homogene Zwischenbogen oder Zwischenplatten unterbrochen wird, so erleidet die Kraft der Kette eine Schwächung dadurch, die sich selbst dann zu erkennen giebt, wenn die Prüfung der Kraft unmittelbar bei der Schließung vorgenommen wird.

Dieser letztere Umstand erlaubt nicht, die Schwächung der Kette durch Zwischenbogen blos von Veränderungen abhängig zu machen, welche durch den Einfluß der Strömung selbst an den Zwischenbogen hervorgebracht werden, wiewohl solche wirklich im Laufe der Schließung eintreten und dann sich mit jener ursprünglich schwächenden Ursache compliciren.

Belege zu dieser, gleich mit Anfang der Schließung eintretenden, Schwächung einer Kette durch Zwischenbogen findet man in meinen Maßbestimmungen, Versuch 79 bis 83. Unten wird einer dieser Versuche angeführt werden.

2) Diese Schwächung ist für den Anfang der Schließung vollkommen gleich, mögen die homogenen Zwischenbogen oder Zwischenplatten,

*) Dieselben wurden im Allgemeinen so angestellt, daß ich in eine Zelle A eine Kupferplatte K und in eine Zelle B (beide mit mehreren Seitenfugen versehen) eine Zinkplatte z einsetzte; und (wenn die Wirkung kupferner Zwischenbogen verglichen werden sollte) dann in A noch eine Kupferplatte K′ und in B eine andre Kupferplatte K″ (in die Seitenfugen) einsetzte. Dann wurden K′ und K″ durch einen Draht, K und z durch den Multiplicator verbunden. Hier wirken K′ und K″ zusammen als ein einziger Zwischenbogen. Es erhellt, daß man durch Einschieben andrer Tröge noch mehr solche Zwischenbogen in die Kette bringen kann. Die Wirkung wurde von mir stets unmittelbar bei der Schließung durch die Methode der Oscillationen bestimmt. Sollte eine Kette mit Zwischenbogen mit einer ohne Zwischenbogen verglichen werden, so wurden für letzten Fall die Erregerplatten in eine und dieselbe Zelle gebracht, so daß der Abstand derselben darin so groß war, daß die Elektricität eine eben so große Strecke Flüssigkeit durchlaufen mußte, als im Fall der Zwischenbogen in zwei Zellen. Für dieselbe Gleichheit der zu durchlaufenden Flüssigkeitsstrecken ward auch bei Vergleichung der Wirkung eines oder zweier Zwischenbogen mit der Wirkung mehrerer solcher Bogen stets gesorgt, um den Einfluß eines vermehrten Flüssigkeitswiderstandes zu beseitigen.

durch welche man die Flüssigkeit einer Zink-Kupferkette unterbricht, von Zink oder von Kupfer seyn. (Versuch 79.)

Dieser Umstand konnte nach dem, was man bisher in dieser Hinsicht angenommen hat, unerwartet scheinen; indeß ist anzunehmen, daß alle bisherigen Versuche, nach welchen kupferne Zwischenplatten eine größere Schwächung hervorrufen, als solche von Zink, nicht den ersten Augenblick der Kette nach der Schließung betrafen, sondern eine spätere Wirkungsperiode, wo allerdings kupferne Zwischenplatten in viel höherm Grade schwächend wirken können, als zinkene. Unstreitig hängt der Umstand, daß zu Anfange der Schließung sich beiderlei Art Zwischenplatten gleich verhalten, mit dem früher S. 421 erwähnten Umstande zusammen, daß es für den Anfang der Schließung auch gleichgültig ist, ob man eine größere erregende Oberfläche von Zink oder von Kupfer anwendet; der Umstand aber, daß im Fortgange der Schließung die schwächende Wirkung der Kupferplatten das Übergewicht erlangt, steht unstreitig mit dem folgenden Satz in Beziehung.

3) Die Wirkungsabnahme ist bei Zwischenbogen von Kupfer schneller, als bei Zwischenbogen von Zink, so daß in gleicher Zeit von der Schließung an eine Kette mit kupfernen Zwischenbogen schwächer wirkt, als eine mit zinkenen. (Maßbest. Vers. 79 b, c.)

4) Durch Einbringung von Zwischenbogen wird die elektromotorische Kraft der Kette nicht geändert, so daß die Schwächung, welche dadurch hervorgebracht wird, einer Zunahme des Widerstandes beigemessen werden muß. Dies ergiebt sich durch Berechnung der Versuche 79 und 82 meiner Maßbestimmungen.

5) In Brunnenwasser ist die anfängliche Schwächung durch Zwischenbogen viel stärker, als in saurem Wasser (vgl. Vers. 79 bis 81 mit 82 bis 83 Maßbest.). In sehr stark saurem Wasser habe ich sogar durch Einbringung mehrerer Zwischenbogen keine merkliche Schwächung der Kraft der Kette zu Anfange der Schließung wahrnehmen können, was unstreitig damit zusammenhängt, daß der Übergangswiderstand auf den Zwischenplatten (von dem die anfängliche Schwächung der Kette unstreitig abhängt) in stark saurem Wasser sehr gering ist und leicht gegen den Widerstand der übrigen Theile verschwindet.

6) Die Vermehrung des Gesammtwiderstandes durch Einbringung von Zwischenbogen steht in geradem Verhältnisse der Anzahl der Zwischenbogen (Maßbest. Vers. 79 bis 83).

7) Der Widerstand eines Zwischenbogens ist in saurer Flüssigkeit zu Anfange der Schließung genau eben so groß, als der Widerstand des Überganges auf dem erregenden Plattenpaare, wenn dies mit dem Zwischenbogen gleiche erregende Oberfläche darbietet; dagegen in Brunnenwasser ist der Widerstand des Zwischenbogens viel größer. (Maßbest. Vers. 79. 80. 82. 83.)

8) Wenn man die eine der Zellen A, B (vgl. S. 427 Anm.), worin

sich die Erregerplatten nebst den Platten des Zwischenbogens befinden, mit Wasser, die andre mit verdünnter Säure füllt, so ist die anfängliche Wirkung gleich für folgende 4 Fälle:

1) Zwischenbogen von Zink, Säure im Troge der err. Zinkplatte.
2) — — Zink, Säure — — — — Kupferplatte.
3) — — Kupfer, Säure — — — — Zinkplatte.
4) — — Kupfer, Säure — — — — Kupferplatte.

Aber die Wirkungsabnahme ist schneller, wenn sich die Säure bei der erregenden Zinkplatte, als wenn sie sich bei der erregenden Kupferplatte befindet. (Maßbest. S. 132.)

Von den Versuchen, durch die ich die vorstehenden Umstände bewährt habe, mag blos folgender hier Platz finden.

Einfache Zink-Kupferkette, welche mit Zwischenbogen von Zink combinirt wird. Die Flüssigkeit Brunnenwasser.

| Anzahl der Zwischenbogen. | Entsprechende Kraft. | Berechnete Kraft. |
|---|---|---|
| 0 | 6,08 | 6,11 |
| 1 | 3,48 | 3,31 |
| 2 | 2,26 | 2,27 |
| 3 | 1,68 | 1,73 |
| 4 | 1,45 | 1,38 |

Die Berechnung ist hier nach der Voraussetzung geführt, daß der, bei keinem Zwischenbogen durch 0,163 ausgedrückte Gesammtwiderstand durch jede Hinzufügung eines Zwischenbogens um 0,139 zunimmt, während die elektromotorische Kraft = 1 gesetzt wird.

Noch scheinen mir in Bezug auf den vorliegenden Gegenstand die Resultate einiger Versuche Pohl's (Pogg. XVI. 103. 108.) erwähnenswerth.

Die Schwächung der Kraft einer Kette durch eine in die Flüssigkeit eingeschobene Zwischenplatte kann unter Umständen noch größer seyn als durch eine Glasplatte. Pohl führt in diesem Bezug folgenden Versuch an: Er nahm einen kleinen, mit verdünnter Salpetersäure gefüllten, gläsernen Trog, dessen breite Seitenwände Quadrate von beinahe 2,5 Zoll bildeten, und einen Zoll von einander entfernt waren, und in welchem auf der einen Seite eine Zinkplatte, und ihr gegenüber auf der andern Seite ein Kupferblech sich befand. Beide durch den Multiplicator verbunden bewirkten eine Ablenkung von 40°. Er senkte nun in der Mitte zwischen beiden Seitenwänden eine kleine Glastafel, die ein Quadrat von nur 1,5 Zoll Seite bildete, in die Flüssigkeit, und die Nadel ging auf 36° zurück. Nachdem die Glastafel aus dem Troge herausgezogen worden, stellte sich die vorige Ablenkung von 40° sogleich wieder her. An der Stelle der Glastafel wurde darauf ein eben so großes Kupferblech in den Trog getaucht und die Ablenkung der Nadel wurde nun noch geringer als zuvor; sie ging auf 32° zurück.

Ein andrer Versuch von interessanten Ergebnissen ist folgender:

$k_0$ ————
$k_1$ ————
$k_2$ ————
$k_3$ ————
$k_4$ ————
$k_5$ ————
$k_6$ ————
z ————

Eine Anzahl Kupferplatten $k_0$, $k_1$, $k_2$ u. s. w. und eine Zinkplatte z, etwa 6 Zoll ins Gevierte groß, sind in der beigefügten Ordnung mit feuchten Zwischenpappen aufgeschichtet und paarweise durch Metalldrähte verbunden, so daß $k_0$ mit z, $k_1$ mit $k_6$, $k_2$ mit $k_5$, $k_3$ mit $k_4$ verbunden ist *).

Ist der Verbindungsdraht von $k_0$ mit z ein Multiplicator, so wird er eine gewisse Ablenkung erleiden, deren Richtung wir als östlich bezeichnen wollen. Anstatt $k_0$ und z verbinde man jetzt die homogenen Platten $k_1$ und $k_6$ durch den Multiplicator, während man $k_0$ und z wieder durch irgend einen andern Schließungsdraht verbindet, und zugleich die andern Verbindungsdrähte zwischen $k_2$ und $k_5$, $k_3$ und $k_4$ wie vorhin am Platze läßt. Die Ablenkung des Multiplicators wird jetzt westlich seyn; geht man solchergestalt mit dem Multiplicator weiter zur Verbindung von $k_2$ und $k_5$, von $k_3$ und $k_4$ über, so wird die Ablenkung wieder respectiv östlich und westlich werden.

Es scheint uns übrigens keines großen Scharfsinns zu bedürfen, dies Resultat mit den gewöhnlichen Ansichten über die Leitung der Elektricität durch die Flüssigkeiten und Metalle in Einklang zu bringen, ja nur ein andres Resultat danach zu erwarten, und ich kann daher Pohl's Meinung nicht theilen, der einen Gegengrund dagegen in diesem Versuche findet.

## I. Über Wirkungsabnahme und Wirkungswiederherstellung galvanischer Ketten **).

Es ist zwar bis jetzt noch nicht gelungen, die Wirkungsabnahme, welche galvanische Ketten im Laufe der Schließung erfahren, allgemein als Function der Zeit ausdrücken zu können; indeß haben mich doch meine Versuche über diesen Gegenstand zu mehrern sehr allgemeinen Bestimmungen geführt, die

*) Um diese Verbindungen mit Leichtigkeit aufheben und wiederherstellen zu können, ist jede Platte an geeigneter Stelle ihres Vorder- oder Seitenrandes mit einem angelötheten Kupfernäpfchen versehen, das mit Quecksilber gefüllt ist, und das eintauchende amalgamirte Ende des Kupferdrahtes aufnimmt und festhält. Die Pappscheiben, etwas kleiner als die Metallscheiben, sind etwa mit 30fach verdünnter Schwefelsäure durchnetzt, und so stark und gleichmäßig als möglich ausgepreßt, damit die hervorstehenden Metallränder völlig trocken bleiben mögen.

**) Maßbest. S. 244 oder Schweigg. J. LXIII. 249.

im Folgenden dargelegt werden sollen. Ich begnüge mich hier, blos die Resultate dieser Versuche, nebst der schlußweise beigefügten tabellarischen Zusammenstellung einiger derselben anzuführen, indem ich hinsichtlich des ganzen Details dieser Versuche und der Beziehung der Resultate auf dieselben auf meine Schrift verweise.

I. Allgemeine Bestimmungen über den Gang der Wirkungsabnahme.

1) Die Kraft jeder Kette ist für den ersten Anfang der Schließung am stärksten, und bleibt entweder erst eine gewisse, längere oder kürzere, Zeit merklich constant, um dann allmälig abzunehmen, oder sie nimmt gleich vom Anfang an merklich ab.

So gewiß es ist, daß in jeder Kette mit gehörig blanken metallischen Oberflächen die Kraft zu Anfange der Schließung die möglichst stärkste ist, und so irrig hiernach die Ansicht erscheinen muß, die elektrische Kraft brauche erst eine gewisse Zeit, sich nach der Schließung im vollständigen Grade zu entwickeln: eben so irrig ist andrerseits die Annahme, daß die Wirkungsabnahme allgemein in den ersten Augenblicken nach der Schließung die größte sey; dagegen vielmehr umgekehrt häufig die ersten Oscillationen der die Kraft messenden Multiplicatornadel nach der Schließung in merklichem Isochronismus vor sich gehen, und die Wirkungsabnahme ganz deutlich erst längere oder kürzere Zeit nach der Schließung sich zu entwickeln anfängt; wenn gleich in andern Fällen, wo die Umstände, welche die Wirkungsabnahme beschleunigen, gehäuft oder einzeln in hohem Grade vorhanden sind, die Wirkungsabnahme auch schon unmittelbar von der Schließung an bemerklich werden kann. Öfters sieht man ganz deutlich, namentlich bei kleinen erregenden Oberflächen, nachdem die allerersten Oscillationen der Nadel in merklichem Isochronismus vor sich gegangen sind, die Schnelligkeit derselben sich ganz sichtbar und gleichsam plötzlich verlangsamen; andere Male kann ein merklich vollkommener Isochronismus der Schwingungen sich 5 bis 15 Minuten und länger noch vom Anfange der Schließung an erhalten, und dann erst allmälig eine Wirkungsabnahme einzutreten beginnen; ich habe sogar Ketten beobachtet, wo binnen einer halben, ja einer ganzen Stunde gar keine merkliche Wirkungsabnahme zu spüren war (vgl. z. B. Tabelle I. Kupfervitriollösung).

2) Wenn die Wirkungsabnahme einmal im Gange ist, so ist sie um so rascher, je näher die Periode derselben dem Anfange der Schließung liegt, so daß die Differenzen der Kraft, welche sie mit sich bringt, für gleiche Zeitunterschiede immer kleiner werden. Solchergestalt tritt mit der Zeit ein Zustand ein, wo die Kraft der Kette, vorausgesetzt daß nichts an ihr geändert wird, selbst während Stunden für merklich constant angesehen werden kann; aber keineswegs absolut constant, indem für längere Perioden die Wirkungsabnahme immer noch merkbar wird, und es scheint überhaupt, daß diese Abnahme keine Gränze findet. So ward z. B. bei einem

Versuche, wo eine einfache Kette 5 Tage lang ununterbrochen in Salmiaklösung geschlossen blieb, noch ein merklicher Abfall der Kraftwerthe vom 4ten zum 5ten Tage beobachtet, der jedoch hier nur im Mittel der verschiedenen, am 4ten und 5ten Tage erhaltenen, Werthe bemerkbar ward, da, wenn eine Kette sehr lange geschlossen gewesen ist, dann öfters binnen längerer oder kürzerer Zeit kleine Schwankungen der Kraft zwischen einem Mehr oder Minder eintreten, die jedoch nicht hindern, daß im Mittel die Kraftwerthe immer niedriger werden.

Der Zeitpunkt, wenn ein, für eine gewisse Zeit als constant anzusehender, Zustand der Kette merklich eintritt, ist bei Ketten verschiedener Anordnung sehr verschieden. Bei manchen concentrirt sich die Wirkungsabnahme gewissermaßen auf die erste Zeit nach der Schließung, es findet hier ein schneller Abfall der Kraft Statt, bald aber schreitet die Wirkungsabnahme nur noch sehr langsam vor, so daß ein für merklich constant anzusehender Zustand bald erreicht ist; bei andern schreitet die Wirkungsabnahme vom Anfang an langsam, aber lange in bemerklichem Grade fort, und überhaupt finden in diesem Bezuge die allergrößten Verschiedenheiten je nach der Anordnungsweise der Ketten Statt.

3) Die Wirkungsabnahme steht in gar keiner wesentlichen Abhängigkeit von der absoluten Anfangskraft der Kette, indem Ketten von gleicher anfänglicher Kraft den allerverschiedensten Gang der Wirkungsabnahme zeigen können, wofern die Umstände ihrer Anordnung verschieden sind. Auch können von zwei Umständen, die beide die Kraft der Kette zu erhöhen dienen, doch der eine die Wirkungsabnahme befördern, während der andre sie mindert. Ersteres gilt z. B. von Verkürzung des Schließungsdrahtes, letzteres in der Regel von Verstärkung der Flüssigkeit durch Säure, wie die folgenden Sätze ergeben werden.

4) In zwei Ketten, die sich in allen Stücken, bis auf die Länge des festen oder flüssigen schließenden Leiters gleich sind, erfolgt die Wirkungsabnahme langsamer in derjenigen Kette, welche durch den längern Leiter geschlossen ist (s. Tab. I und II); in gleichem Grade jedoch dann, wenn der Widerstand sowohl des kürzern als längern schließenden Leiters gegen den Widerstand der übrigen Theile der Kette verschwindet.

So war z. B. bei einem kleinen Plattenpaar in Brunnenwasser die Wirkungsabnahme merklich dieselbe, mochte die Kette durch die einfache oder ziemlich die 30fache Multiplicatorlänge geschlossen seyn. Zugleich aber waren hier auch die Anfangskräfte merklich gleich, zum Beweise, daß selbst die 30fache Länge des Schließungsdrahtes keinen in Betracht kommenden Antheil des Gesammtwiderstandes ausmachte.

5) In Ketten, in denen Alles, bis auf die Zahl der (nach dem Principe der Säule combinirten) Plattenpaare, gleich ist, ist die Abnahme schneller in denjenigen Ketten, welche die größere Anzahl Plattenpaare besitzen, mithin bei übrigens gleichen Umständen allgemein schneller in Säulen, als in einfachen Ketten (s. Tab. I.). Dieser Unterschied verschwindet

jedoch in dem Maße, als der Leitungswiderstand des schließenden Leiters gegen den Leitungswiderstand der Plattenpaare verschwindet; daher, wenn die anfänglichen Kräfte zweier Säulen von verschiedener Zahl der (gleich construirten) Plattenpaare merklich gleich sind *), so ist auch die Wirkungsabnahme merklich gleich.

6) Wenn zwei Ketten einander in Allem, bis auf die Größe der erregenden Oberfläche, gleich sind, so ist die Wirkungsabnahme schneller in der Kette mit kleinerer erregender Oberfläche. Dieser Unterschied verschwindet jedoch in dem Maße, als der Widerstand des Schließungsdrahtes gegen den Widerstand des Plattenpaares verschwindet, ist daher bei kurzem Schließungsdrahte, wo die Anfangskräfte nahe im geraden Verhältniß der erregenden Oberfläche stehen, weniger merklich oder unmerklich (s. Tab. I.).

7) Die Wirkung der Kette nimmt schneller ab, wenn eine größere positive gegen eine kleinere negative Fläche angewandt wird, als im umgekehrten Falle (s. Tab. II.).

8) Dieser Unterschied ist, wenigstens in saurem Wasser, noch auffallender für Plattenpaare aus Zinn und Kupfer, als aus Zink und Kupfer.

9) Die Größe der Wirkungsabnahme wird um so mehr vermindert, je mehr man Säure (Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure) zum Brunnenwasser, als Leitungsflüssigkeit angewandt, fügt. In noch stärkerem und wirklich auffallenden Grade verzögert Kupfervitriollösung die Wirkungsabnahme; dagegen wird sie beschleunigt durch Zusatz von Kochsalz- oder Salmiaklösung, und besonders auffallend durch Zusatz von Zinkvitriollösung zum Brunnenwasser. Diese Resultate (welche zum Theil in Tab. I. ihre Belege finden), sind an Ketten von 9,3 6Dec. Quadratzoll erregender Oberfläche gefunden worden: jedoch muß ich erwähnen, daß bei sehr kleinen erregenden Oberflächen (von 1,6 Dec. Quadratzoll) die Wirkungsabnahme durch Zumischung von Säure zum Brunnenwasser manchmal beschleunigt werden kann, so daß sich in Bezug hierauf schwer etwas ganz Allgemeines aussagen läßt. (Die nähern Belege s. in meiner Schrift). Für Kupfervitriollösung, Zinkvitriollösung, Kochsalz- und Salmiaklösung aber ergab sich auch bei den kleinen erregenden Oberflächen das obengenannte Verhältniß sehr auffallend.

10) Ganz gleich construirte Ketten, nur mit verschiedener Leitungsflüssigkeit, können selbst dann einen verschiedenen Gang der Wirkungsabnahme zeigen, wenn ihre anfänglichen Kräfte gleich sind, so daß der Einfluß der Leitungsflüssigkeit auf die Wirkungsabnahme noch von etwas Anderm als ihrem Leitungsvermögen abhängen muß.

So zeigten zwei sonst ganz gleich construirte Ketten, bei deren einer aber die Leitungsflüssigkeit Wasser mit $\frac{1}{40}$ Vol. concentrirter Kupfervitriollösung, bei der andern Wasser mit $\frac{1}{13}$ Vol. gesättigter Kochsalzlösung war,

*) Dies nämlich ist das Zeichen, daß der Widerstand des schließenden Leiters bei ihnen nicht mehr in Betracht kommt.

eine gleiche anfängliche Kraft; nach 5 Minuten, ja nach 15 Minuten, war die erste noch gar nicht bemerklich gesunken, dagegen die zweite nach 5 Minuten nur noch 0,141, nach 15 Minuten 0,0984 ihrer anfänglichen Kraft zeigte.

Eben so wurden bei zwei sonst gleich construirten Ketten, deren eine aber Wasser mit $\frac{1}{5}$ Vol. Salzsäure von 1,080 spec. Gewicht, die andere ziemlich gesättigte Salmiaklösung zur Leitungsflüssigkeit hatte, gleiche Anfangskräfte beobachtet. Bei der ersten war die Kraft nach 5 Minuten auf 0,634 ihres Anfangswerthes gesunken, und nach 10 Minuten wurde noch dieser Werth 0,634 merklich wiedergefunden; bei der zweiten dagegen war die Kraft nach 5 Min. auf 0,125, nach 10 Min. auf 0,0752 ihres Anfangswerthes gesunken. Noch mehrere Beispiele enthält meine Schrift *).

11) Allgemein hat sich mir bei einer sehr großen Anzahl, unter den verschiedensten Umständen angestellter, Versuche bestätigt, daß die Wirkungsabnahme unter gleichen Umständen schneller bei Plattenpaaren aus Zinn und Kupfer, als aus Zinn und Zink ist; fast eben so allgemein, daß die Wirkungsabnahme schneller bei Plattenpaaren aus Zink und Kupfer, als aus Zink und Zinn ist; nur bei Brunnenwasser zeigten sich unter einigen besondern Umständen, welche jedoch die Vergleichbarkeit der Versuche aufzuheben schienen (vgl. meine Schrift S. 248), Ausnahmen vom letztern Falle. Endlich wird man es auch in den meisten Fällen zutreffend finden, daß die Wirkungsabnahme schneller bei Zinn-Kupfer als bei Zink-Kupfer ist.

12) Um die vorigen Umstände in einem Hauptergebnisse zusammenzufassen, so wird man, um eine möglichst langsame Wirkungsabnahme zu erhalten, eine einfache Kette von großer erregender Oberfläche, einen langen Schließungsdraht, großen Abstand der Metallplatten in der Flüssigkeit, lieber Zink-Zinn als Zink-Kupfer, lieber Zink-Kupfer als Zinn-Kupfer, und als Leitungsflüssigkeit (in der Regel) recht stark saures Wasser, oder noch besser Kupfervitriollösung anzuwenden, oder auch nur einen dieser Umstände in recht hohem Grade vorwalten zu lassen, oder mehrere derselben zu combiniren haben.

## II. Vom Wogen der Kraft der Kette, das durch Öffnung und Wiederschließung derselben, durch Einbringen und Wegnahme von Leitern in dieselbe oder aus derselben u. s. w. hervorgebracht wird.

1) Wenn man eine Kette, die schon kürzere oder längere Zeit geschlossen ist, und dadurch eine gewisse Wirkungsabnahme erlitten hat, eine Zeit lang wieder öffnet, so zeigt sich bei der nachherigen Wiederschließung ein Theil ihrer ersten Kraft wieder hergestellt.

*) Vgl. auch in Tabelle I. den Versuch mit $\frac{1}{561}$ Kupfervitriollösung und $\frac{1}{2805}$ Zinkvitriollösung.

2) Die Kette erlangt einen um so höhern Grad von Kraft wieder, je länger die Öffnung dauert, und kann nach hinreichend langer Öffnung selbst wieder die anfängliche Kraft erreichen. Bei augenblicklicher Öffnung ist die Kraftwiederherstellung unmerklich.

3) Die Wiederherstellung der Kraft wird sehr beschleunigt und vergrößert, wenn man während der Öffnung der Kette die negative Platte an die Luft bringt. Bei der positiven Platte scheint dieser Umstand keinen oder nur einen geringen Einfluß zu äußern.

4) Die von Neuem eintretende Wirkungsabnahme bei der Wiederschließung befolgt einen viel raschern Gang als bei der ersten Schließung, so daß die Kraft der Kette, selbst wenn sie durch die Öffnung fast oder ganz ihre erste anfängliche Kraft wieder erreicht hat, doch viel schneller zu dem der Öffnung vorausgegangenen Grade der Schwäche sinkt, als bei der ersten Schließung.

5) Wenn eine Schließung durch mehrere Öffnungen unterbrochen wird, scheint sie dadurch überhaupt zu einem raschern Gange der Wirkungsabnahme disponirt zu werden, mindestens habe ich bei mehreren Versuchen in Brunnenwasser, wo eine stets geschlossen gebliebene Kette mit einer ganz ähnlichen, bei der die Schließung aber durch mehrere Öffnungen unterbrochen ward, verglichen wurde, gefunden, daß letztere ungeachtet dieser für die Schließung verloren gegangenen Zeit, nach gleicher Zeit von der ersten Schließung an eine geringere Kraft äußerte, als erstere.

6) Verlängerung des schließenden Leiters disponirt die Kette zu einer Wirkungszunahme, Verkürzung zu einer Wirkungsabnahme; d. h. im ersten Falle fängt die, durch die Verlängerung des schließenden Leiters sofort (wie natürlich) verminderte, Kraft wieder allmälig zu steigen, im zweiten die, durch Verkürzung des Leiters sofort erhöhte, Kraft zu fallen an, auch wenn die Kette sich bei Vornahme dieser Veränderungen auf einem merklich constanten Zustande befand. (Diese Beobachtung hat zuerst Ohm gemacht, und ich habe sie durch zahlreiche Versuche bestätigt gefunden.)

7) Wenn man eine erregende Oberfläche, die sich auf einem constanten Wirkungszustande befindet, verkleinert*), so erhält sie dadurch die Neigung, von dem, durch diese Verminderung sofort hervorgebrachten, niedern Kraftzustande noch weiter herabzusinken, wiewohl dieses nicht constant geschieht.

8) Wenn man bei constantem Zustand einer erregenden Oberfläche blos einen Theil der negativen Fläche eine Zeit lang aus der Kette läßt, (welches leicht geschehen kann, wenn die Kette aus mehreren einzelnen zu einer erregenden Oberfläche in einem weiten Troge vereinigten Plattenpaaren besteht): so zeigt sich beim nachherigen Wiederhineinnehmen desselben in die Kette die Kraft ebenfalls stärker, als beim Weglassen; wenn man da-

*) In meiner Schrift sind die Methoden angegeben, dies ohne Verrückung der Platten in der Flüssigkeit zu bewirken.

gegen mit einem Theile der positiven Fläche so verfährt, so ist eine Wirkungszunahme in dieser Weise wenig oder gar nicht zu bemerken.

9) Mechanische Änderungen und Verrückungen, an der positiven Platte im Fortgange der Schließung vorgenommen, sind höchst wenig geeignet, eine Wirkungswiederherstellung der Kette zu veranlassen; dieselben aber, an der negativen Platte vorgenommen, disponiren sie höchst leicht dazu.

In der That darf man nicht wagen, die Kupferplatte nur ein wenig in der Flüssigkeit zu verrücken, ohne sogleich eine Schwankung der Kraft hervorzurufen, dagegen ich sehr oft die Zinkplatte fast ganz aus der Flüssigkeit herausgezogen, ein Stück durch die Flüssigkeit fortgeführt und nach Wiedereinsetzen an ihren vorigen Ort (in Bodenfugen eines weiten und langes) wieder ganz die vorige Kraft beobachtet habe, nur muß dabei alles Anwogen der Flüssigkeit an die Kupferplatte vermieden worden seyn, weshalb dieser Versuch in keiner zu großen Nähe an der Kupferplatte vorgenommen werden darf.

Ein andrer auffallender Versuch in diesem Bezug ist folgender: Eine Kupferplatte hatte in 12,2 Dec. Zoll Abstand von der Zinkplatte längere Zeit in einem weiten und langen Troge mit salpetersaurem Wasser geschlossen gestanden, so daß ein merklich constanter Kraftzustand, bei dem die (senkrecht gegen die Windungen stehende) Nadel des Multiplicators 68 Zeittheile (t) zu 16 Oscillationen *) brauchte; eingetreten war. Die Zinkplatte zeigte sich ganz geschwärzt, während die Kupferplatte schwach bläulich angelaufen war. Als jetzt jene mit einem Federbarte leicht gestrichen wurde, blieb die Kraft 68 t; als die Kupferplatte eben so gestrichen ward, stieg die Kraft sofort auf 56 t **), sank aber wieder binnen einigen Minuten auf 66 t, wo sie wieder längere Zeit merklich constant blieb. Bei dieser Kraft ward die Flüssigkeit in der Mitte sanft mit einem Federbart umgerührt, mit Vermeidung von Anwogen gegen die Kupferplatte; die Kraft blieb 66 t; es wurde jetzt die Zinkplatte so stark mit dem Federbart abgewischt, daß der schwarze Überzug in Striemen entfernt ward; die Kraft blieb dessenungeachtet genau 66 t; als jetzt eben so die Kupferplatte wieder abgewischt ward, stieg die Kraft abermals auf 56 t, sank aber wieder in Kurzem.

### III. Über die Ursache der Wirkungsabnahme im Allgemeinen.

Das Einzige, was sich bis jetzt mit Gewißheit über die Ursache der Wirkungsabnahme aussagen läßt, ist, daß sie abhängt von Veränderungen der metallischen Oberflächen, die die Flüssigkeit unter dem Einflusse der

*) Einer Kraft = 3,87 entsprechend; da die Nadel unter dem bloßen Einflusse der Erde 140 Zeittheile zu 16 Oscillationen brauchte.

**) Einer Kraft = 6,17 entsprechend.

Schließung daran hervorbringt, welche die negative Platte in stärkerm Grade betreffen, als die positive, und die zugleich ein Sinken der elektromotorischen Kraft und ein Steigen des Übergangswiderstandes (was im folgenden Abschnitte näher erörtert werden wird), welches letztern Wesen übrigens selbst noch unbekannt ist, bewirken. Welcher Art aber diese Veränderungen seyen, warum sie die negative Platte vorzugsweise betreffen, wie sie durch den Einfluß der Schließung hervorgerufen werden, nach welchem Gesetze sie fortschreiten, Alles dies sind eben so viele Räthsel, deren Lösung wir erst von der Zukunft erwarten müssen.

Bei Betrachtung der Umstände, von welchen die Wirkungsabnahme abhängt, haben wir die wesentlichen Ursachen von den unwesentlichen zu unterscheiden. Es kann nicht in Abrede gestellt werden, daß Veränderungen in der Beschaffenheit des flüssigen Leiters, bedingt durch seine chemische Einwirkung auf die Erregerplatten, Verzehren von darin enthaltenem Sauerstoff, Austrocknen der Tuchscheiben, im Falle man etwa solche (was jedoch bei messenden Versuchen im Allgemeinen nicht zulässig) zur Construction der Kette anwendet, möglicherweise selbst eine eigenthümliche Vertheilung der Bestandtheile unter dem Einflusse der Kette, etwas zur Wirkungsabnahme beitragen können; allein alles dies sind außerwesentliche Umstände, welche mit dem Hauptgrunde der Wirkungsabnahme nichts zu schaffen haben. Ich werde hier mehrere Thatsachen zusammenstellen, welche bei der Erörterung hierüber besondere Berücksichtigung verdienen.

1) Wenn auch eine Kette in einem Troge mit Flüssigkeit schon eine sehr bedeutende Wirkungsabnahme erlitten hat, so wird man doch bei frischer Schließung eines neuen Plattenpaares unter denselben Umständen in der nicht erneuerten Flüssigkeit in der Regel wieder merklich dieselbe anfängliche Kraft und denselben Gang der Wirkungsabnahme beobachten, als das erste Mal, zum Beweise, daß es nicht eine bleibende Veränderung der Flüssigkeit ist, welche die erste Wirkungsabnahme hervorgerufen hat. Auch würden die Umstände des Wogens der Kraft bei abwechselnder Öffnung und Schließung der Kette in derselben Flüssigkeit nicht ihre Erklärung durch eine Veränderung derselben finden.

2) Directe Messungen des Leitungswiderstandes der Flüssigkeit im Laufe der Wirkungsabnahme selbst (vgl. Tab. III.) lehren, daß oft selbst während mehrerer Stunden ihr Leitungswiderstand merklich unverändert geblieben ist, während inzwischen eine sehr bedeutende Wirkungsabnahme Statt gehabt hat, so daß man also auch nicht annehmen kann, durch die Schließung selbst werde der Leitungswiderstand der Flüssigkeit vergrößert.

3) Man kann in einem Troge, worin die Platten in einem weiten Abstande von einander stehen, die Flüssigkeit in der Mitte zwischen beiden, oder nahe an der positiven Platte, bei constantem Wirkungszustande der Kette, umrühren, ohne daß eine Schwankung oder Wiederherstellung der Kraft die Folge ist, wofern nur dabei ein Anwogen an die Kupferplatte vermieden wird, zum Beweise, daß eine eigenthümliche Vertheilung der

Flüssigkeitstheilchen unter dem Einflusse der Kette das Sinken der Kraft nicht wesentlich bedingt.

4) Die Thatsache, daß alle Umstände der Wirkungsabnahme und Wiederherstellung durch Änderungen an der positiven Platte weniger als durch Änderungen an der negativen Platte modificirt werden, zeigt, daß eine Modification der Platten selbst, welche die positive und negative in ungleichem Verhältnisse trifft, Schuld an der Wirkungsabnahme ist.

5) Der Umstand, daß, nach der Beobachtung Ohm's und Anderer, thermoelektrische Ketten die Erscheinung der Wirkungsabnahme nicht darbieten, zeigt, daß jene Modification der Platten durch Einwirkung der Flüssigkeit auf dieselben hervorgerufen wird.

6) Diese Modification beruht jedoch nicht in chemischen Veränderungen, welche die Flüssigkeit unabhängig von der Schließung an den Platten hervorzubringen vermöchte; denn:

a) Es macht in den meisten Flüssigkeiten keinen Unterschied, ob man ein Plattenpaar vor der Schließung etwas kürzere oder längere Zeit darin hat stehen lassen; anfängliche Kraft und Wirkungsabnahme bleiben sich gleich.

b) Wenn man in chemischen Änderungen, die unabhängig von der Schließung Statt finden, den Grund der Wirkungsabnahme suchen wollte, so müßte sie mehr durch das positive, als das negative Glied der Kette bedingt werden, da ersteres stets stärker von der Flüssigkeit angegriffen wird.

c) Auch könnten in diesem Falle die verschiedenen Umstände der Schließung, z. B. kürzerer oder längerer Schließungsdraht, größere oder kleinere Oberfläche u. s. w. keinen Unterschied in den Gang der Wirkungsabnahme bringen.

d) Wenn man zwei ganz gleiche Plattenpaare zu Einer Kette zwar schließt, aber so, daß ihre Ströme entgegengesetzt gerichtet sind, mithin sich compensiren, findet keine Wirkungsabnahme Statt, sondern jedes Plattenpaar macht, wenn es nachher für sich geschlossen wird, denselben Verlauf der Wirkung als ohnedem.

7) Die unter 6) namhaft gemachten Umstände beweisen jedoch keineswegs, daß die Wirkungsabnahme nicht von einer chemischen Änderung der Erregerplatten abhänge, sondern nur, daß keine vom Strome unabhängige Veränderung dieser Art daran Schuld sey, dagegen es sehr wohl möglich wäre, daß der Strom durch eigenthümliche chemische Veränderungen, die er selbst einleitet, die Wirkungsabnahme bedinge. Ich führe in diesem Bezug in meiner Schrift einen Versuch (Versuch 133) an, der, ohne dieses gerabezu zu beweisen, doch für das Coincidiren beider Umstände einen sehr guten Beleg geben kann.

## IV. Von der Änderung der einzelnen Elemente der Ketten bei der Wirkungsabnahme.

Wie Seite 425 ff. angeführt worden ist, hängt die Kraft der Kette von 4 wesentlichen Elementen ab, deren eins, die elektromotorische

Kraft, den Zähler der Stromkraft bildet, während die drei andern, der Widerstand der festen, der Widerstand der flüssigen Theile und der Widerstand des Übergangs, die in ihrer Summe den Gesammtwiderstand ausmachen, den Nenner der Stromkraft darstellen.

Es schien nun höchst wichtig, auszumitteln, ob alle diese Elemente einer Veränderung im Laufe der Wirkungsabnahme unterliegen, oder nur gewisse. Diese Untersuchung *) ist mit ganz besondern Schwierigkeiten verbunden, da sie eine Messung der einzelnen Elemente im Laufe der Wirkungsabnahme selbst, so daß doch der Gang derselben möglichst wenig dadurch gestirt werde, nöthig macht. Es würde hier zu weit führen, anzugeben, wie diese Messungen im Allgemeinen vorzunehmen sind, und wie die besondern, sich bei diesem Gegenstande darbietenden, Schwierigkeiten so weit beseitigt wurden, daß man die nachfolgends aufgestellten Sätze, welche die Ergebnisse dieser Versuche sind, als zuverlässige Resultate betrachten darf; ich verweise darüber auf meine Schrift. In Tabelle III findet man die vornehmsten der Resultate zusammengestellt, aus denen die nachfolgenden Sätze abgeleitet sind. A darin bedeutet die elektromotorische Kraft, w den Übergangswiderstand, d den Widerstand der Flüssigkeit, auf die Einheit des Abstandes bezogen. Der constante Widerstand des Schließungsdrahts ist überall = 1 gesetzt. Man findet in der Tabelle die Änderungen dieser Elemente, wie sie sich vom Anfange der Schließung an direct der Beobachtung ergeben haben, wobei bemerkt werden muß, daß nahe gleiche Werthe von A oder d, in Betracht der möglichen Beobachtungsirrthümer, mit Fug als wirklich äquivalent angesehen werden können **).

1) Die einzigen, im Laufe der Wirkungsabnahme wesentlich veränderlichen, Elemente der Kette sind die elektromotorische Kraft und der Übergangswiderstand. Der Widerstand der Flüssigkeit ändert sich selbst in längerer Zeit im Allgemeinen auf keine in Betracht kommende Weise.

Bei den Versuchen in der Tabelle III. wird man selbst gar keine merkliche Änderung des Flüssigkeitswiderstandes (die nicht innerhalb der Beobachtungsirrthümer fiele) wahrnehmen können; wozu beitragen mochte, daß die mit saurem Wasser angestellten Versuche 1 und 2 in weiten Trögen vorgenommen wurden. Indeß habe ich allerdings bei einem andern Versuche, wo eine Kette mehrere Tage lang in saurem Wasser geschlossen blieb, einen langsamen, aber merklichen, Zuwachs dieses Widerstandes mit der

*) Sie wird so geführt, daß sowohl zu Anfange der Schließung als im Fortgange derselben der Abstand der Platten in der Flüssigkeit (wobei blos die positive Platte in der Flüssigkeit bewegt werden darf) und Länge des Schließungsdrahts abgeändert und die Kraft jedesmal gemessen wird, wodurch man mittelst der angeführten Formeln zur Kenntniß der verschiedenen Elemente der Kette gelangt.

**) Die Versuche in Tab. I wurden sämmtlich mit der einfachen Kette angestellt. Die erregende Oberfläche jeder Platte betrug bei verschiedenen Versuchen ungefähr 7, bei anderen ungefähr 9 Dec. Quadratzoll. Das Nähere s. in meiner Schrift.

Zeit wahrgenommen, was auch wohl nicht anders seyn kann, da durch Angreifen der Platten Säure aus der Flüssigkeit verschwinden muß.

2) Die elektromotorische Kraft sinkt, der Übergangswiderstand steigt mit fortschreitender Wirkungsabnahme der Kette.

Auf dem Zusammenwirken dieser beiden Umstände beruht sonach die Wirkungsabnahme der Ketten. Indeß muß bemerkt werden, daß der letzte Umstand viel wesentlicher als der erste ist, denn ich habe einzelne ganz unzweideutige Beispiele beobachtet, wo die zu Anfange der Schließung Statt findende elektromotorische Kraft auch noch eine gewisse Zeit nach der Schließung (während welcher Zeit indeß eine sehr merkliche Wirkungsabnahme Statt gefunden hatte) wiedergefunden wurde, und blos der Übergangswiderstand sich gestiegen zeigte, was besonders leicht bei langem Schließungsdrahte der Fall ist. In meiner Schrift sind mehrere Beispiele in diesem Bezug angeführt; auch kann man Versuch 9 in Tabelle III. hierher rechnen, wo noch eine Stunde nach der Schließung die anfängliche elektromotorische Kraft wiedergefunden ward, ungeachtet während dieser Zeit die Gesammtkraft der Kette auf $\frac{1}{9}$ ihres ursprünglichen Werthes herabgekommen war. Inzwischen wurde bei diesem Versuche der Übergangswiderstand nicht direct bestimmt.

3) Die elektromotorische Kraft sinkt nicht continuirlich, sondern sprungweise. Der erste Sprung tritt gewöhnlich schon innerhalb der ersten 15 Minuten ein, und dann kann die Kette oft sehr lange Zeit denselben Grad der elektromotorischen Kraft beibehalten; öfters aber springt sie im fernern Verlaufe des Geschlossenseyns noch auf tiefere Werthe über.

So war bei Versuch 1 in Tab. III. die anfängliche elektromotorische Kraft 175 nach 45 Minuten auf 109 gesunken, und derselbe Werth wird auch noch in der Periode 3 Stunden 40 Minuten gefunden. Eben so zeigte sich bei Versuch 2 der anfängliche Werth 183 nach 24 Minuten = 108, und nach $3\frac{1}{2}$ Stunden = 105, welche Werthe, in Betracht der möglichen Beobachtungsirrthümer, für äquivalent gelten können. Auch die übrigen, in der Tabelle enthaltenen, Versuche bieten hinreichende Beispiele dar für das Gleichbleiben der elektromotorischen Kraft auf längere Zeit, während welcher indeß die Wirkungsabnahme immer fortschreitet, und zwar sowohl in Brunnenwasser, als in saurem Wasser. Indeß in noch auffallenderem Grade beweisen dies mehrere, nicht in der Tabelle enthaltene, Versuche, die man in meiner Schrift angeführt findet. So wurde bei einem Versuch in Brunnenwasser von 15 Minuten bis 20 Stunden nach der Schließung, bei verschiedentlich angestellten Zwischenbeobachtungen, merklich derselbe Werth der elektromotorischen Kraft gefunden, und analoge Resultate noch bei mehreren andern erhalten.

Allein nicht immer bleibt die elektromotorische Kraft auf der ersten Stufe stehen, auf die sie gefallen ist, öfters springt sie noch tiefer. So ist bei Versuch 3 der Anfangswerth 83,3 nach $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden auf 41,5

bis 43,1 gesunken; nach $22\frac{1}{2}$ Stunden zeigt er sich blos noch 27,4. Bei Versuch 6 zeigt sich der Anfangswerth von A = 88,5 nach 15 Minuten auf 45,7 gefallen, welcher Werth noch nach 1 Stunde 30 Minuten merklich wiedergefunden wird; nach 6 Stunden aber zeigt sich dieser Werth = 36,4, nach 20 Minuten = 28,7. Noch mehrere Belege hierzu enthält meine Schrift.

Wenn der erste Abfall von der ursprünglichen elektromotorischen Kraft Statt findet, kann im Allgemeinen nicht angegeben werden, und ich habe schon erwähnt, daß, namentlich bei langem Schließungsdrahte (wiewohl auch zuweilen bei kürzerem) der Anfangswerth von A sich ziemlich lange nach der Schließung noch wiederfinden kann.

4) Der Übergangswiderstand nimmt in Ketten, die sich selbst überlassen werden, nicht sprungweise, sondern continuirlich, im Fortschritte der Wirkungsabnahme zu. Mehr, als aus den in der Tabelle enthaltenen Resultaten erhellt dieser Umstand aus vielen anderen, in meiner Schrift angeführten, so daß der Fortschritt der Wirkungsabnahme während der oft lange Zeit constant bleibenden elektromotorischen Kraft dann blos dem fortgehenden Zuwachs des Übergangswiderstandes beizumessen ist. — Bemerkt jedoch muß werden, daß in dem Falle, wo eine gewaltsame Änderung in der Kette vorgenommen wird, indem entweder die erregende Oberfläche oder die Leitungslänge über einen gewissen Grad abgeändert wird, auch der Übergangswiderstand eine sprungweise Veränderung erleiden und wohl gar wieder abnehmen kann, wozu meine Schrift mehrere Belege enthält.

5) Die anfängliche Kraft steht im Verhältniß eines Multiplum oder Submultiplum zu den Stufenwerthen, auf welche sie im Verlaufe des Geschlossenseyns, bei Anwendung von Brunnenwasser als schließender Flüssigkeit, überspringt. Und zwar ist der Anfangswerth in der Regel das Doppelte oder Anderthalbfache von dem, auf welchen die elektromotorische Kraft zunächst fällt.

Dieser Umstand wird übereinstimmend durch die Versuche 3 bis 8 in Tab. III. dargethan. So zeigt sich bei Versuch 3, 5 und 6 die Kraft nach ungefähr 2 Stunden (und schon früher) auf die Hälfte, bei Versuch 7 auf $\frac{2}{3}$, bei Versuch 8 auf $\frac{1}{4}$ ihres Anfangswerthes gesunken *). Die sämmtlichen Stufenwerthe bei Versuch 3 würden, um im Verhältniß 6 : 3 : 2 oder 1 : $\frac{1}{2}$ : $\frac{1}{3}$ zu stehen, folgende Werthe haben müssen: 83,6 : 41,8 : 27,8, welches von den beobachteten mittleren Werthen 83,3 : 42,3 : 27,4 nicht merklich abweicht. Bei Versuch 6 haben die Stufenwerthe von A das Verhältniß 10 : 5 : 4 : 3.

Noch einige andere Belege für diesen Umstand in Brunnenwasser enthält meine Schrift.

*) Zinn-Kupfer, auf welches sich Versuch 8 bezieht, hat überhaupt, wie auch aus anderen, in meiner Schrift angeführten, Versuchen erhellt, eine größere Disposition, als Zink-Kupfer und Zink-Zinn, auf tiefere Stufenwerthe der elektromotorischen Kraft zu sinken.

Für saures Wasser geben meine Versuche diesen Umstand wenigstens nicht durchgängig zu erkennen. Denn wiewohl einige in meiner Schrift angeführte Versuche sich ebenfalls der Annahme sehr wohl fügen würden, daß der Anfangswerth von A ein Multiplum oder Submultiplum der späteren Stufenwerthe ist, so ist doch ein solches Verhältniß weder in den Versuchen 1 und 2 der Tabelle III, noch in mehreren andern Versuchen meiner Schrift zu bemerken.

Erklärung der Bezeichnungen in nachstehenden Tabellen.

In Tabelle I, Columne 2, bedeutet 1 O die einfache *), 4 O die 4fache erregende Oberfläche; 4 Pl aber bedeutet 4 zu einer Säule combinirte Plattenpaare, deren jedes eine mit 1 O übereinstimmende erregende Oberfläche hat, so daß also in 4 O und 4 Pl eine gleiche metallische Oberfläche, nur anders combinirt, vorhanden ist. — 1 l bedeutet Schließung durch die einfache, 51 l Schließung durch die 51fache Multiplicatorlänge. In Columne 3 ist die anfängliche Kraft des Stromes, auf die Einheit reducirt, enthalten, und in der Einschaltung die absolute Kraft der Kette (auf den Magnetismus der Multiplicatornadel als Einheit bezogen). In den Columnen 5 Min., 10 Min. u. s. w. sind dann die Bruchtheile der anfänglichen Kraft enthalten, welche vom Anfange der Schließung an beobachtet wurden. Sämmtliche in Tab. I enthaltenen Versuche sind unter möglichst vergleichbaren Umständen angestellt, so daß sie sämmtlich eine Beziehung auf einander erlauben. Sie wurden in gleichbeschaffenen Zellen, bei 9,96 par. Dec. Lin. Abstand der Platten von einander, angestellt **).

In Tabelle II bedeutet 2 K 1 Z, daß einer Zinkplatte von beiden Seiten eine ihr gleiche Kupferplatte, (mithin die doppelte Kupferfläche gegen die einfache Zinkfläche) gegenüber stand, und 2 Z 1 K bedeutet die umgekehrte Combination ***). Bei 2 K 0,182 Z betrug die mittlere Zinkfläche blos 0,182 von jeder der äußeren Kupferflächen u. s. w. Der Abstand jeder der äußeren Platten von der mittlern war überall 6,64 par. Dec. Lin. Die Versuche der Tabelle II sind nicht nur unter sich, sondern auch (bis auf den Abstand der Metallplatten) mit denen der Tabelle I vergleichbar.

In Tabelle III bedeutet erwähntermaßen A die elektromotorische Kraft, d den Widerstand der Flüssigkeit, w den Widerstand des Überganges, wobei der Widerstand des Schließungsdrahts als 1 zu Grunde gelegt ist. Wo ein Fragezeichen steht, wurde keine Beobachtung angestellt.

*) Bei der einfachen erregenden Oberfläche betrug sowohl die Kupfer- als die Zinkfläche 9,86 Dec. Quadratzoll.

**) In meiner Schrift S. 214 wird man für die Versuche mit Kupfer- und Zinkvitriollösung die eingeschalteten Zahlen, welche zur Bezeichnung der absoluten Anfangskräfte dienen, im Verhältniß von 6 zu 5 größer finden. Dies rührt daher, daß sie dort auf eine entsprechend andere Krafteinheit bezogen sind, dagegen sie hier, um alle Versuche vergleichbar zu machen, wie sie es denn ihrer Anordnung nach wirklich waren, auf dieselbe Einheit mit den übrigen bezogen wurden.

***) Die einfache Fläche betrug auch hier 9,36 Quadratzoll.

# Tabelle I.

## Zink-Kupfer.

| Leitungsflüssigkeit. | Umstände des Leitungswiderstandes. | Periode des Versuches. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 Min. | 5 Min. | 10 Min. | 15 Min. | 30 Min. |
| Brunnenwasser von 11° $\frac{1}{4}$ bis 12° $\frac{1}{4}$ R. | 1 O 11 | 1(9,19) | 0,297 | 0,253 | 0,226 | 0,183 |
| | 1 O 511 | 1(2,12) | 0,736 | 0,687 | 0,590 | 0,505 |
| | 1 O 168,51 | 1(0,755) | 0,945 | " | 0,906 | 0,826 |
| Brunnenwasser mit $\frac{1}{612}$ Vol. Schwefelsäure von 1,096 sp. G. v. 13° bis 13° $\frac{3}{4}$ R. | 1 O 11 | 1(12,0) | 0,358 | 0,283 | 0,242 | 0,195 |
| | 1 O 511 | 1(2,85) | 0,722 | 0,672 | 0,600 | " |
| | 4 O 11 | 1(40,3) | 0,352 | 0,302 | 0,273 | 0,243 |
| | 4 Pl 11 | 1(12,6) | 0,307 | 0,265 | 0,236 | 0,200 |
| | 4 Pl 511 | 1(6,85) | 0,467 | 0,394 | 0,362 | 0,324 |
| Brunnenwasser mit $\frac{1}{136}$ Vol. Schwefels. von 1,096 sp. G. v. 10° bis 12° $\frac{3}{4}$ R. | 1 O 11 | 1(35,7) | 0,508 | 0,462 | 0,439 | 0,392 |
| | 1 O 511 | 1(3,35) | 0,722 | 0,654 | 0,630 | 0,609 |
| | 4 O 11 | 1(90,6) | 0,481 | 0,459 | 0,439 | 0,376 |
| | 4 O 511 | 1(3,55) | 0,941 | 0,941 | 0,941 | 0,941 |
| | 4 Pl 11 | 1(41,6) | 0,481 | " | 0,458 | 0,428 |
| | 4 Pl 511 | 1(10,9) | 0,522 | 0,505 | 0,503 | 0,464 |
| Brunnenwasser mit $\frac{1}{170}$ rauchender Schwefelsäure v. 12° $\frac{3}{4}$ bis 13° R. | 1 O 11 | 1(67,7) | 0,617 | 0,517 | 0,504 | " |
| | 1 O 511 | 1(3,48) | 0,962 | 0,748 | 0,710 | " |
| | 4 O 511 | 1(3,60) | 0,966 | 0,950 | 0,930 | " |
| Brunnenwasser, enth. nachst. Verhältnisse bei 13° R gesättigter Kupfervitriollösung 1 O 11 13° R. | $\frac{1}{561}$ | 1(10,5) | 0,340 | 0,301 | 0,280 | " |
| | $\frac{1}{280,1}$ | 1(13,3) | 0,430 | 0,382 | 0,382 | " |
| | $\frac{1}{151}$ | 1(16,8) | 0,517 | 0,489 | 0,466 | " |
| | $\frac{1}{53,3}$ | 1(34,3) | 1 | 1 | 1 | 0,900 |
| | $\frac{1}{16,75}$ | 1(52,3) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Brunnenwasser, enth. nachst. Verhältn. bei 12° R. gesättigter Zinkvitriollösung 1 O 11 11° $\frac{1}{2}$ bis 12° R. | $\frac{1}{561}$ | 1(8,09) | 0,231 | 0,179 | 0,161 | " |
| | $\frac{1}{280,3}$ | 1(10,3) | 0,207 | 0,177 | 0,163 | " |
| | $\frac{1}{151}$ | 1(14,1) | 0,152 | 0,130 | 0,121 | " |
| | $\frac{1}{50,28}$ | 1(21,7) | 0,132 | 0,116 | 0,115 | " |
| | $\frac{1}{16,75}$ | 1(30,8) | 0,173 | 0,158 | 0,158 | " |
| | $\frac{1}{2}$ | 1(42,3) | 0,264 | 0,161 | 0,161 | 0,126 |

## Tabelle II.

### Zink-Kupfer.

| Leitungsflüssigkeit. | Umstände des Leitungswiderstandes. | Periode des Versuches. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 Min. | 5 Min. | 10 Min. | 15 Min. | 20 Min. | 25 Min. |
| Brunnenwasser | 2K 1Z 1 l | 1(68,4) | 0,471 | 0,405 | " | " | 0,392 |
| mit $\frac{1}{136}$ Vol. | 2Z 1K 1 l | 1(68,4) | 0,452 | 0,397 | " | " | 0,379 |
| Schwefelsäure | 2K 1Z 51 l | 1(3,59) | 0,925 | 0,813 | 0,752 | " | 0,679 |
| von 1,096 sp. G. | 2Z 1K 51 l | 1(3,59) | 0,674 | 0,568 | 0,533 | " | 0,533 |
| v. 12° $\frac{1}{4}$ bis 13° $\frac{1}{4}$ R | | | | | | | |
| Brunnenwasser | 2K 1Z 1 l | 1(30,9) | 0,343 | 0,248 | 0,237 | " | 0,200 |
| mit $\frac{1}{613}$ Vol. | 2Z 1K 1 l | 1(30,9) | 0,226 | 0,177 | " | " | 0,147 |
| Schwefelsäure | 2K 1Z 51 l | 1(3,06) | 0,947 | 0,915 | 0,866 | 0,824 | " |
| von 1,096 sp. G. | 2Z 1K 51 l | 1(3,06) | 0,900 | 0,882 | " | 0,725 | " |
| v. 13° $\frac{1}{2}$ bis 14° $\frac{1}{3}$ R | 2K 0,182Z 1 l | 1(13,1) | 0,573 | 0,439 | " | " | 0,296 |
| | 2Z 0,182K 1 l | 1(13,1) | 0,151 | 0,122 | " | 0,053 | 0,0853 |
| | 2K 0,182Z 51 l | 1(2,80) | 0,907 | 0,853 | , | " | " |
| | 2Z 0,182K 51 l | 1(2,80) | 0,489 | 0,400 | " | " | " |

## Tabelle III. *)

| Periode des Versuches | A | w | d **) | Nummer und Umstände des Versuchs. |
|---|---|---|---|---|
| Anfang | 174 | 15,1 | 1,77 | Versuch 1. Zink-Kupfer. |
| 45 Min. | 109 | ? | ? | Wasser mit $\frac{1}{613}$ Vol. Salpetersäure |
| 3 St. 40 Min. | 109 | 30,06 | 1,75 | von 1,144 sp. Gew. Abstand 16,2d |
| Anfang | 183 | 1,39 | 1,52 | Versuch 2. Zink-Kupfer. |
| 27 Min. | 108 | ? | ? | Wasser mit $\frac{1}{306}$ Vol. Schwefelsäure |
| $3\frac{1}{2}$ St. | 105 | 10,3 | 1,51 | von 1,094 sp. Gew. Abstand 16,2d |
| Anfang | 83,3 | 11,3 | 3,09 | Versuch 3. Zink-Kupfer. |
| 1 St. 30 Min. | 41,5 | ? | ? | Brunnenwasser. Abstand 12 d |
| 2 St. | 43,1 | 61,9 | 3,06 | |
| $22\frac{1}{2}$ St. | 27,4 | 77,0 | 2,97 | |

*) Die Zahlen bei jedem Versuche sind allgemein nur unter sich, aber nur zum Theile mit denen der andern Versuche vergleichbar, was hier, als für den vorliegenden Gegenstand ohne Belang, nicht unterschieden worden ist.

**) Der wirkliche Widerstand des flüssigen Leiters in den Ketten 1) und 2) betrug das 16,2fache, in den übrigen Ketten das 12fache von dem in dieser Columne angegebenen Werthe, der für die bei meinen Versuchen gewählte Einheit des Abstandes gilt.

Digitized by Google

Tabelle III. (Fortsetzung)

| Periode des Versuches | A | w | d | Nummer und Umstände des Versuches. |
|---|---|---|---|---|
| Anfang | ? | ? | ? | Versuch 4. Zink-Zinn. |
| 1 St. | 29,7 | ? | ? | Brunnenwasser. Abstand 12 d |
| 2 St. | 30,2 | 62,0 | 2,84 | |
| Anfang | 50 | 15,2 | 4,22 | Versuch 5. Zinn-Kupfer. |
| 2 St. | 25,9 | 96,3 | 4,24 | Brunnenwasser. Abstand 12 d |
| Anfang | 88,5 | 6,72 | 3,16 | Versuch 6. Zink-Kupfer. |
| 15 Min. | 45,7 | ? | ? | Brunnenwasser. Abstand 12 d |
| 1 St. 30 Min. | 44,4 | 47,1 | 3,11 | |
| 6 St. | 36,4 | 65,6 | 3,15 | |
| 20 St. | 28,7 | 71,4 | 3,37 | |
| Anfang | 27,7 | 6,03 | 2,86 | Versuch 7. Zink-Zinn. |
| 15 Min. | 28,3 | ? | ? | Brunnenwasser. Abstand 12 d |
| 1 St. | 18,8 | ? | ? | |
| 1 St. 30 Min. | 18,8 | ? | ? | |
| Anfang | 59,6 | ? | ? | Versuch 8. Zinn-Kupfer. |
| 1 St. 30 Min. | 15,6 | 60,5 | 2,79 | Brunnenwasser. Abstand 12 d |
| Anfang | 36,7 | 4,00 | 0,176 | Versuch 9. Zink-Kupfer oder |
| 15 Min. | 36,1 | ? | ? | Zinkzinn *)? Wasser mit $\frac{1}{30}$ |
| 1 St. | 36,2 | ? | ? | Vol. Kochsalzlösung 12 d |

### K. Von den Sprüngen im Wirkungszustande der Kette bei Abänderung des Leitungswiderstandes **).

Abgesehen von den Sprüngen in der elektromotorischen Kraft der Kette, die im Laufe der Wirkungsabnahme von selbst eintreten, können noch andre Sprünge im Wirkungszustande der Kette durch Abänderungen, die man willkürlich im Leitungszustande derselben vornimmt, hervorgebracht werden. Meine Versuche lehren zwar, daß weder die elektromotorische Kraft, noch der Übergangswiderstand in einer *wesentlichen* Abhängigkeit von dem Leitungswiderstande der festen und flüssigen Theile der Kette, so weit er auf ihren Dimensionen beruht, stehen; allein sie lehren zugleich, daß diese Unabhängigkeit nicht *absolut* ist: denn überschreitet man mit den Änderungen des von Flüssigkeit und Schließungsdraht abhängigen Widerstandes, durch Verlängerung der darin zu durchlaufenden Strecke, gewisse Gränzen,

*) In meinen Maßbestimmungen ist S. 167 angegeben *Zink-Zinn*, S. 253 aber *Zink-Kupfer*; eins von beiden ist verdruckt, ich kann aber nicht mehr mit Bestimmtheit angeben, welches.

**) Maßbest. S. 256.

so kann sowohl das eine als das andre obgenannte Element auf einen neuen Werth überspringen, der sich wieder innerhalb gewisser Gränzen des Leitungswiderstandes constant zeigt. Es ist zugleich sehr bemerkenswerth, daß die verschiedenen Werthe, welche solchergestalt die elektromotorische Kraft und der Übergangswiderstand anzunehmen vermögen, stets im Verhältnisse von Multiplis oder Submultiplis zu einander zu stehen scheinen, wozu beifolgende Tabellen als Belege dienen können *).

Wie früher bedeutet in diesen Tallellen 1 l, 28,5 l u. s. w. eine Schließung respectiv mit der einfachen oder 28,5fachen Drahtlänge; 1 d und 8 d u. s. f. Schließung respectiv beim einfachen oder 8fachen Abstande der Metallplatten. Wo die Zeichen † ⊙ △ und □ stehen, wurden sowohl Schließungslänge des Drahts als der Flüssigkeit abgeändert, und es beziehen sich diese Zeichen auf die verschiedenen Versuchsdata, die man in meinen Maßbestimmungen specificirt findet, so wie auch die Nummern der Versuche sich darauf beziehen.

Stufenwerthe der elektromotorischen Kraft.

| | Beobachtete Stufenwerthe. | Berechnete Stufenwerthe. | Verhältniß der Werthe. | Nummer und Umstände der Versuche. |
|---|---|---|---|---|
| 1 bis 28,51<br>51 bis 191 1 | 159<br>184 | 156<br>187 | 5 : 6 | Versuch 35. Salpeters. Wasser. Kupfervitriollösung. Zink-Kupfer. Anfang der Kette. |
| Bei †<br>Bei ⊙<br>Bei ☽ | 68,0<br>81,3<br>102 | 67,9<br>81,5<br>105 | 5 : 6 : 7 | Versuch 58A. Brunnenwasser. Zink-Kupfer. Anf. d. Kette. |
| Bei †<br>Bei ⊙ | 31,7<br>39,8 | 32,5<br>39,0 | 5 : 6 | Versuch 58B. Brunnenwasser. Zink-Zinn. Anfang. d. Kette. |
| Bei 31<br>Bei 9 und 151 | 98,5<br>159 | 103<br>154 | 2 : 3 | Versuch 62. Schwefels. Wasser. Zink-Kupfer. Anf. d. Kette. |
| Von 1 bis 20<br>Von 3 bis 50 | 28,5<br>39,5 | 29,1<br>38,9 | 3 : 4 | Versuch 64 VI. Salzs. Wasser. Zink-Kupfer. Anf. d. Kette. |
| Bei △<br>Bei ⊙ und † | 67,6<br>88,5 | 66,9<br>89,2 | 3 : 4 | Versuch 94A. Brunnenwasser. Zink-Kupfer. Anf. d. Kette. |
| Bei △<br>Bei ⊙ | 27,7<br>36,2 | 27,4<br>36,6 | 3 : 4 | Versuch 94B. Brunnenwasser. Zink-Zinn. Anfang d. Kette. |
| 1 bis 71<br>9 bis 591<br>1 bis 31<br>5 bis 591 | 40,6<br>60,3<br>40,8<br>60,1 | 40,4<br>60,4<br>40,6<br>60,6 | 2 : 3<br>2 : 3 | Versuch 129. Schwefelsaures Wasser. Zink-Kupfer. Constanter Zustand der Kette. |
| Schließung bei 36,5 1<br>Schließung bei 11 | 58,3<br>30,9 | 59,4<br>29,7 | 1 : 2 | Versuch 130. Brunnenwasser. Zink-Kupfer. Constanter Zustand der Kette. |

*) Schon früher ist dieser Umstand erwähnt worden.

## Stufenwerthe des Übergangswiderstandes.

| | Beobachtete Stufenwerthe. | Berechnete Stufenwerthe. | Verhältniß der Werthe. | Versuche, sämmtlich für den Anfang der Schließung geltend. |
|---|---|---|---|---|
| Von 1 bis 8 d<br>Von 12 bis 44 d | 0,0192<br>0,0381 | 0,0191<br>0,0382 | 1 : 2 | Versuch 10.<br>Schwefelsaures Wasser. |
| Bei 11<br>Von 361 an | 0,0736<br>0,1082 | 0,0727<br>0,1091 | 2 : 3 | Versuch 11.<br>Brunnenwasser. |
| Bei †<br>Bei ⊙ | 7,60<br>14,4 | 7,33<br>14,7 | 1 : 2 | Versuch 58 B.<br>Brunnenwasser. |
| Bei 91<br>Bei 151 | 10,9<br>13,5 | 10,8<br>13,6 | 4 : 5 | Versuch 62.<br>Schwefelsaures Wasser. |
| Von 1 bis 20<br>Von 3 bis 50 | 15,8<br>33,5 | 16,4<br>32,9 | 1 : 2 | Versuch 64 VI.<br>Salzsaures Wasser. |
| Bei †<br>Bei ⊙<br>Bei △<br>Bei □ | 0,0760<br>0,0976<br>0,127<br>0,163 | 0,0732<br>0,0976<br>0,103<br>0,163 | 1 : 2 (†, ⊙)<br>4 : 5 (△, □) | Versuch 85.<br>Brunnenwasser. |
| S. den Versuch 86. | 0,0318<br>0,0583<br>0,0791<br>0,1116 | 0,0293<br>0,0586<br>0,0781<br>0,1172 | 1 : 2 (erste zwei)<br>2 : 3 (letzte zwei) | Versuch 86.<br>Brunnenwasser. |
| Bei 1 d. 1 bis 241<br>Bei 11. 3,05 bis 16,2 d | 0,0663<br>0,0960 | 0,0649<br>0,0974 | 2 : 3 | Versuch 87.<br>Brunnenwasser. |
| Bei △<br>Bei †<br>Bei ⊙ | 4,26<br>8,28<br>13,2 | 4,29<br>8,58<br>12,9 | 1 : 2 : 3 | Versuch 93 A.<br>Brunnenwasser. |
| Bei △<br>Bei ⊙<br>Bei † | 1,34<br>4,24<br>6,72 | 1,36<br>4,10<br>6,84 | 1 : 3 : 5 | Versuch 94 A.<br>Brunnenwasser. |
| Bei △<br>Bei ⊙ | 6,03<br>16,0 *) | 6,00<br>18,00 | 1 : 3 | Versuch 94 B.<br>Brunnenwasser. |
| Bei △<br>Bei ⊙ | 4,00<br>5,86 | 3,94<br>5,91 | 2 : 3 | Versuch 94 D.<br>Kochsalzwasser. |

*) Ist aus wenig Beobachtungen bei hohem Leitungswiderstande abgeleitet.

Diese Sprünge in der elektromotorischen Kraft und dem Übergangswiderstande treten nicht nur im ersten Anfange der Schließung ein, d. h. sie zeigen sich, wenn man dieselben Platten mit jedesmal aufgefrischter Oberfläche bei verschiedenen Graden des Leitungswiderstandes prüft und die Kräfte mißt, wie sie sich unmittelbar bei jeder neuen Schließung zeigen, sondern sie treten auch ein, wenn man in spätern Wirkungsperioden, bei schon merklich constant gewordenem Zustande der Kette, Veränderungen dieses Widerstandes vornimmt, wovon sich in Bezug auf die elektromotorische Kraft zwei Beispiele in vorstehender Tabelle finden.

Die Verhältnisse, die hierbei obwalten, sind, so weit ich sie ausgemittelt habe, folgende:

1) Häufig findet man, daß sich die elektromotorische Kraft und der Übergangswiderstand gleichzeitig ändern, doch ist dies nicht nothwendig; namentlich ändert sich oft der Übergangswiderstand, der überhaupt noch mobiler ist, als die elektromotorische Kraft, ohne gleichzeitige Veränderung der letztern. Das Umgekehrte dagegen scheint selten oder vielleicht gar nicht Statt zu finden.

2) Wo sich die elektromotorische Kraft und der Übergangswiderstand gleichzeitig ändern, steigt oder fällt stets mit ersterer zugleich der letztere, aber im Allgemeinen nicht in demselben, und überhaupt in keinem constanten Verhältnisse. Eine Gesetzmäßigkeit in diesem Bezuge habe ich nicht aufzufinden vermocht.

3) In Wasser, das auch nur wenig Säure enthält, treten zu *Anfange der Schließung* nicht leicht Sprünge der elektromotorischen Kraft ein, selbst wenn man Abstand der Platten und Länge des Schließungsdrahts in sehr weiten Gränzen abändert.

4) In *Brunnenwasser* treten häufiger als in saurem Wasser zu Anfange der Schließung Sprünge in der elektromotorischen Kraft bei Änderung der Schließungslänge ein, wiewohl nicht stets. Es ist mir bis jetzt nicht geglückt, auszumitteln, wovon das Erscheinen oder Nichterscheinen dieser Sprünge hier abhängt, so daß zwar das Daseyn derselben mit Bestimmtheit auf messende Weise erkannt werden kann, wenn sie eintreten, ohne daß sich doch ihr Eintritt voraussagen läßt.

5) In spätern Wirkungsperioden, wo schon ein Abfall von der anfänglichen elektromotorischen Kraft Statt gefunden hat, kann man eben so wenig in saurem Wasser als in Brunnenwasser die Schließungslänge bis über gewisse Gränzen abändern, ohne, wie es scheint, *unausbleiblich* Sprünge der elektromotorischen Kraft erscheinen zu sehen.

6) Der Widerstand des Überganges ist eben sowohl in saurem Wasser als in Brunnenwasser und salzigen Wasser schon zu Anfange der Schließung, und wie es scheint, nicht minder im Fortgange derselben, (worüber ich jedoch wenige Beobachtungen angestellt), mithin unter allen Umständen, geneigt, bei Änderung der Schließungslänge auf andre Stufen überzu-

springen *); es läßt sich aber bis jetzt eben so wenig, als für die elektromotorische Kraft vorausbestimmen, nach welchen Gränzen der Abänderung ein solcher Sprung erfolgen müsse.

7) Änderung in der Größe der erregenden Oberfläche kann ebensowohl als Änderung der Schließungslänge Sprünge in der elektromotorischen Kraft und dem Übergangswiderstande hervorrufen, wovon sich in meiner Schrift mehrere Beispiele finden.

8) Man findet durchgängig oder fast durchgängig, daß die höhern Stufenwerthe der elektromotorischen Kraft und des Übergangswiderstandes den höhern Werthen der Schließungslänge oder der größern erregenden Oberfläche entsprechen, sowohl bei Versuchen im Anfange als im Fortgange der Schließung.

---

## VII. Verschiedene Umstände, welche die Erregung und Wirkungsart der Elektricität in geschlossenen Ketten betreffen **).

---

### Elektricitätsentwickelung unter besondern Umständen.

Gold und Platin in Salpetersäure ***). Nach de la Rive soll eine einfache Kette aus Gold und Platin in reiner Salpetersäure keine Wirkung auf den Multiplicator zeigen. Dies ist nach Marianini irrig. Er fand nämlich, bei Anwendung von Salpetersäure, die von Bizio sorgfältig gereinigt, und von Gold und Platin, die von Bussolin gereinigt worden, daß der Multiplicator einen zwar geringen aber sehr merkbaren Ausschlag (2° bis 3°) gab, der allerdings durch Zufügung von Salzsäure bedeutend verstärkt wurde.

### Galvanische Wirkung bei verhinderter Gaserzeugung.

Ritchie ****) führt folgenden Versuch an, nach welchem eine andauernde galvanische Wirkung einer, mit verdünnter Säure geschlossenen, Zink-Kupferkette auch dann Statt findet, wenn die Flüssigkeit dabei so eingeschlossen ist, daß das Gas keinen Raum findet, sich zu entwickeln und

*) Die Ausnahme, welche für die elektromotorische Kraft Statt findet, daß man zu Anfange der Schließung in saurem Wasser keine Sprünge derselben zu erwarten hat, findet keineswegs für den Übergangswiderstand Statt.

**) Dies Kapitel umfaßt zum Theil ziemlich heterogene Gegenstände, indeß, weil meist nur vereinzelte Beobachtungen für jeden einzelnen vorhanden sind, so habe ich nicht eben so viele besondere Kapitel daraus machen wollen.

***) Ann. de Ch. et de Ph. XLV. 124.

****) Baumg. Zeitschr. VIII. 108.

Luftzutritt verhindert ist. Dieser Versuch verdient Wiederholung, denn man sollte meinen, daß, wenn der in saurem Wasser enthaltene Sauerstoff verzehrt worden, was ziemlich bald der Fall seyn muß, so hätte die galvanische Wirkung aufhören müssen, da die Säure wegen verhinderter Gasentbindung das Metall nicht angreifen konnte.

In einem kupfernen Cylinder (Fig. 66) von etwa 1 Zoll Durchmesser und 2 Zoll Länge, der oben offen, unten mit einer angelötheten kleinern Röhre aus demselben Metalle versehen war, wurde ein kleinerer Zinkcylinder angebracht, an dessen Boden ein kleiner Kupferdraht angelöthet war, der durch den cylindrischen Ansatz des Kupfergefäßes ging. Der Raum zwischen diesem Ansatz und dem Drahte war mit isolirendem Kitt ausgefüllt, um alle leitende Communication zwischen Kupfer und Zink auszuschließen, und der Zinkcylinder selbst war inwendig auf ähnliche Weise ausgekittet, um von keiner Säure angegriffen zu werden. Es wurde der innere Raum größtentheils mit Wasser gefüllt, mit einer Glasröhre ein wenig Schwefelsäure in den Zinkcylinder gebracht, und dann die gänzliche Füllung mit Wasser vollbracht, der Kupfercylinder zugeschraubt und luftdicht verkittet. Durch öfteres Umkehren und Schütteln des Gefäßes wurde nun die völlige Mischung des Wassers mit Schwefelsäure bewerkstelligt, darauf der Kupfer- und Zinkcylinder durch den Multiplicator mit einander in Verbindung gesetzt. Es fand galvanische Wirkung Statt, und diese dauerte einen oder zwei Tage mit derselben Stärke fort, als wenn alles dies in Berührung mit der Luft vor sich gegangen wäre. Die Anführung eines vergleichenden Versuches, ob die Wirkung wirklich eben so stark als bei Luftzutritt war, fehlt übrigens.

## Elektrische Schläge beim Zusamenlöthen von Wasserleitungen.

In Schweigg. J. LXI. S. 50 wird ein Fall mitgetheilt, wo beim Zusammenlöthen eiserner Wasserleitungen mit Blei elektrische Schläge von solcher Stärke entstanden, daß die Arbeiter genöthigt waren, ihre Arbeit zu unterbrechen. Wahrscheinlich waren diese Schläge galvanischer Art. Hinsichtlich der nähern Umstände, die jedoch zu einer genügenden Aufklärung des Phänomens nicht hinreichen, verweise ich auf das Original.

## Elektricitätsentwickelung bei Verbindung von Schwefel mit Metallen.

Um die Elektricitätsentwickelung nachzuweisen, welche bei Verbindung von Schwefel mit Metallen Statt hat, kann man nicht Schwefel direct anwenden, wegen seines schlechten Leitungsvermögens, wohl aber kann man den Versuch mittelst Schwefelkies auf folgendem Wege nach **Becquerel** *) anstellen.

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 352.

Man befestigt ein ziemlich langes Stück Schwefelkies an das eine Ende eines kupfernen Multiplicatordrahts und legt dann das andre Kupferende des Drahts darauf, nachdem man dies Ende zuvor zum Rothglühen erhitzt hat. Sofort erfolgt Bildung von Schwefelkupfer und es entsteht ein energischer Strom, welcher anzeigt, daß der Kies die positive, das Kupfer die negative Elektricität angenommen hat *). Eisen und Silber verhalten sich eben so wie das Kupfer, Platin aber liefert einen kaum merklichen Strom. Dem Schwefelkies kann man auch mit demselben Erfolg Bleiglanz substituiren. Besonders mit Silber ist die Wirkung des Bleiglanzes sehr stark.

Noch giebt Becquerel folgende Methode an, die elektrische Wirkung bei der Verbindung des Schwefels mit Metall wahrnehmbar zu machen, die mir jedoch schlecht geeignet scheint, ein reines Resultat zu liefern, da dabei auch metallischer Contact ins Spiel kommt.

Man befestigt an eins der Enden des Multiplicatordrahts einen Platinlöffel, in welchen man einige Stücke Schwefel thut, setzt eine Alkoholflamme darunter, um den Schwefel zu schmelzen und taucht dann eine Kupferplatte hinein, die an das andre Ende des Multiplicatordrahts befestigt ist, so daß sich das Kupfer und Platin in sehr wenig Punkten berühren. Sofort erfolgt Bildung eines energischen elektrischen Stromes, der vom Kupfer zum Platin geht. So wie der Schwefel verschwunden ist, so kehrt der Strom seine Richtung um, und nimmt, wiewohl das Kupfer mit einer Schicht Schwefel-Kupfer bedeckt ist, dieselbe Richtung an, welche bei Kupfer und Platin Statt findet, wenn sie zusammengelöthet sind. Diese Umkehrung betrachtet Becquerel als hinlänglichen Beweis, daß die erste Strömung von Verbindung des Schwefels mit dem Metall abhing.

## Elektricitätsentwickelung in Schachten.

Die nachfolgende Beobachtung von Fox **) möchte allerdings mehr das Interesse der Curiosität, als wissenschaftliches oder praktisches haben, indeß wollen wir das Wesentliche davon mittheilen.

Fox befestigte in einem Cornwallischen Bergwerke an verschiedenen Stellen Kupferbleche mittelst kupferner Nägel oder auf andre Weise an das Erz der Gänge (veins) und setzte je zwei solcher Platten durch einen kupfernen Multiplicator in Verbindung. Derselbe gab an verschiedenen Stellen einen Ausschlag, was wohl nicht wunderbar erscheinen kann, wenn man annimmt, daß hier und da zwischen zwei erzführenden Gängen oder Theilen eines Ganges, die nicht direct mit einander communiciren, eine feuchte Verbindung Statt finden kann.

Nähere Bestimmungen der Erscheinung sind folgende:

*) D. h. nach Becquerel's Bezeichnung, daß sich das glühende Kupfer gegen den Schwefel wie Wismuth zu Antimon in der thermoelektrischen Kette verhält.

**) Phil. Transact. P. II. p. 399. oder Bibl. univ 1831. Juin. p. 113.

Die Intensität der elektromagnetischen Wirkung war sehr verschieden an verschiedenen Stellen; an manchen nur unbeträchtlich, während an andern die Nadel sich im Kreise drehte. Caeteris paribus war sie im Allgemeinen größer nach Verhältniß der größern Menge von Kupfererz in den Gängen, und manchmal vielleicht im Verhältniß der Tiefe der Stationen; wo wenig oder kein Erz war, fand auch wenig oder keine Wirkung Statt. Wenn der Abstand der Platten von einander in horizontaler Richtung nur wenig Faden betrug, und zwischen ihnen eine reichliche, durch nichtleitende Substanzen nicht unterbrochene, Menge Kupfererz vorhanden war, so fand keine Wirkung Statt; wenn aber ein Gang von Quarz oder Thon den Raum zwischen den Platten kreuzte, so fand gewöhnlich große Wirkung Statt.

Wenn die Communication zwischen zwei Platten in verschiedenen Tiefen in demselben Gange oder zwischen verschiedenen Gängen, gleich viel ob in demselben oder verschiedenen Niveau's, gemacht wurden, so fand meist die entschiedenste Wirkung Statt.

Die Richtungen der elektrischen Strömung waren für verschiedene Stellen nicht constant.

## Elektricitätserregung durch Berührung der Flüssigkeiten unter einander.

Ohm (Schweigg. LXIII. S. 162) findet es bis auf Weiteres noch sehr zweifelhaft, daß durch Berührung von Flüssigkeiten unter einander Elektricitätsentwickelung Statt finde, und führt in diesem Bezuge folgende Versuche an:

Nachdem die in einem Glasgefäße befindliche starke Säure und die in einem andern, nebenstehenden Glasgefäße befindliche starke Kalilösung unter einander durch Asbest oder sonst wie in blos leitende Gemeinschaft gebracht und in jedes Gefäß eine Platinplatte eingetaucht worden ist, wird, noch ehe diese Platinplatten mit den Enden des Multiplicatordrahts in metallische Berührung gekommen sind, der elektrische Zustand dieser Vorrichtung am Elektrometer geprüft und gefunden, daß von der Säure zu der in ihr befindlichen Platinplatte eine starke positive Spannung, von der Ätzkalilösung zu der darin befindlichen Platinplatte eine starke negative Spannung, von der Säure zum Kali keine irgend mit Bestimmtheit sich zu erkennen gebende Spannung wahrzunehmen ist. Nun wird der Multiplicator mit den beiden Platinplatten in Verbindung gebracht, und es entsteht eine starke Ablenkung der Magnetnadel nach derselben Seite, wie es jenen Spannungen gemäß vorauszusehen war. Zugleich aber nimmt man wahr, daß die Einwirkung des Multiplicators auf die Magnetnadel schnell abnimmt und bald so gut wie ganz verschwunden ist, und nun zeigt auch eine wiederholte Anwendung des Elektrometers nirgends eine fühlbare Spannung mehr an, so lange die Kette geschlossen bleibt; öffnet man aber die Kette, so stellen sich die vorigen Spannungen bald wieder ein, und es läßt sich so der beschriebene Kreislauf der Erscheinungen mehrmals aufs Neue wiederholen.

Es ist nicht zu leugnen, daß dieser Versuch gar sehr dafür spricht, daß die Berührung zwischen Säure und Kali keinen oder höchstens einen sehr geringen Antheil an der ganzen Wirkung gehabt haben kann. Andrerseits indeß scheinen mir nachfolgende Versuche Becquerel's*) eine Elektricitätserregung durch wechselseitige Berührung von Flüssigkeiten, unabhängig von Berührung mit Metallen, sehr entschieden zu beweisen; da hier Kettenanordnungen in Anwendung gezogen wurden, bei welchen die Enden des Multiplicators mit gleichartigen Metallen (Platinschalen) in Verbindung standen, diese gleichartigen Metalle auch mit gleichartigen Flüssigkeiten (entweder Salpetersäure oder Phosphorsäure) communicirten, und nun zwischen diesen gleichartigen Flüssigkeiten erst die heterogenen Flüssigkeiten eingeschaltet wurden, deren Wirkung auf einander geprüft werden sollte. Hier konnte der elektrische Effect, welcher wirklich eintrat, nicht von einer Berührung der Metalle mit ungleichartigen Flüssigkeiten abhängen, da ein solcher heterogener Contact nicht Statt fand; er mußte mithin auf Rechnung der Berührung oder auch chemischen Wirkung der Flüssigkeiten auf einander kommen.

Die Anordnung und der Erfolg von Becquerel's Versuchen in diesem Bezuge wird durch folgende Tabelle ausgedrückt. Die Richtung des Pfeils zeigt die Richtung der (positiven) Strömung in den Substanzen an, die auf die untenfolgende Art angeordnet waren.

Das Platin zu beiden Enden wird durch zwei Schaalen vorgestellt, die mit der Flüssigkeit (1) und (4) gefüllt, und einerseits mittelst des Multiplicators, andrerseits durch einen mit Wasser genetzten, 1 Decimeter langen, Baumwollendocht verbunden wurden. Um die Mitte des Dochts nun wurde von jeder der Flüssigkeiten (2) und (3) ein Tropfen (der eine zur einen, der andre zur andern Seite) angebracht, die dann ihre Wirkung auf einander äußerten. Andremale wurde auch statt dieser Anordnung folgende ihr äquivalente gewählt. Die beiden Platinschaalen standen mit zwei Porzellanschaalen in Verbindung, worin sich die gegen einander zu prüfenden Flüssigkeiten befanden. Diese Porzellanschaalen communicirten unter einander mittelst eines Asbestdochts, mit den Platinschaalen aber durch mit Wasser gefüllte Röhren.

→

| | (1) | | (2) | (3) | | (4) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Platin, | Salpeters., | Wasser, | Salzs., | Salpeters., | Wasser, | Salpeters., | Platin. |
| — | — | — | Essigs., | — | — | — | — |
| — | — | — | salpetrige S., | — | — | — | — |
| — | — | — | alkal. Aufl. | — | — | — | — |
| — | — | — | Aufl. v. salpeters., schwefels. Salzen u. s. w. | — | — | — | — |

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLI. 11.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Platin, | Schwefels., | Wasser, | Salpeters., | Schwefels., | Wasser, | Schwefels., | Platin. |
| — | Phosphors. | — | — | Phosphors. | — | Phosphors. | — |
| — | — | — | Salzsäure | — | — | — | — |
| — | — | — | Schwefels. | — | — | — | — |
| — | — | — | alkalische u. Salzlösung. | — | — | — | — |

Wir wollen hieran die Zusammenstellung mehrerer Ketten anschließen, bei denen zwei gleichartige Metalle mit zwei ungleichartigen Flüssigkeiten combinirt werden. Die Richtung des Pfeils wird wiederum die Richtung der Strömung in den Flüssigkeiten anzeigen.

## Ketten mit zwei verschiedenen Flüssigkeiten.

→

Zink { Schwefelsäure oder / Salpetersäure oder / Salzsäure } Wasser, Zink

Zink, Wasser, salpetrige Säure, Zink.

(Ritchie in Baumg. Zeitschr. VIII. 108).

→

Zink, conc. Schwefelsäure, Salpetersäure, Kupfer.

Kupfer, — — —

(de la Rive in Pogg. XV. 102).

→

Kupfer, neutrale salpeters. Kupferlösung, saure salpetersaure Kupferlösung, Kupfer.

Zink, neutrale salpeters. Zinklösung, saure salpeters. Zinklösung, Zink.

Blei, neutrale salpeters. Bleilösung, saure salpeters. Bleilösung, Blei.

Eisen, neutrale salpeters. Eisenlösung, saure salpeters. Eisenlösung, Eisen.

Eisen, neutrale salzs. Eisenlösung, saure salzs. Eisenlösung, Eisen.

Zinn, neutrale schwefels. Zinnlösung, saure schwefels. Zinnlösung, Zinn.

Zink, saure schwefels. Zinklösung, neutrale schwefels. Zinklösung, Zink.

Eisen, saure schwefels. Eisenlösung, neutrale schwefels. Eisenlösung, Eisen.

Gold, Salpetersäure, Salpetersäure mit Salzsäure, Gold.

Gold, Salpetersäure, Salpetersäure mit salzs. Gold, Gold.

(Becquerel in Ann. de Ch. et de Ph. XLI. 14). *)

*) Diese Versuche Becquerel's wurden so angestellt, daß die beiden, am Multiplicator befestigten, homogenen Metallplatten in zwei, durch Asbest communicirende, Schalen tauchten, welche mit gleichartigen Flüssigkeiten gefüllt waren. In die eine dieser Schaalen wurden dann einige Tropfen Säure hinzugefügt, wenn eine saure Auflösung gegen eine neutrale geprüft werden sollte.

→

Kupfer, salpeters. Kupfer, Neutralsalz *), Kupfer
Kupfer, schwefels. Zink, Neutralsalz, Kupfer
Eisen, Neutralsalz, schwefels. Eisen, Eisen
Zink, Neutralsalz, schwefels. Zink, Zink.
(Becquerel in Ann. de Ch. et de Ph. XLI. 18).

→

| | | | |
|---|---|---|---|
| Zink, | conc. Schwefelsäure, | Salpetersäure, | Kupfer |
| Kupfer | — | — | — |
| Zink | — | — | Zink |
| Eisen | — | — | Eisen |
| Blei | — | — | Blei |
| Zinn | — | — | Zinn |
| Silber | — | — | Silber |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kupfer, | conc. | Lösung | von | salzs. | Kalk, | verd. | Salpetersäure, | Kupfer |
| Platin | — | — | — | — | — | — | — | Platin |
| Zink | — | — | — | — | — | — | — | Zink |
| — | — | — | — | — | — | — | — | Kupfer |

Platin, Salpeters., irgend ein Metall **), conc. Schwefels., Platin.
(de la Rive in Pogg. XV. 102.)

Kupfer und Zink, die durch den Multiplicator in Verbindung stehen, tauchen jedes in eine, mit einer gesättigten Auflösung von schwefelsaurem Zink gefüllte, Schaale. Die Flüssigkeit beider Schaalen stehe durch einen (mit derselben Auflösung) genäßten Baumwollen- oder Asbestdocht in Verbindung. Gießt man nun einige Tropfen Salpetersäure oder salpetersaures Kupfer in die Schaale, worin sich die Kupferplatte befindet, so nimmt die Ablenkung der Nadel zu, geschieht der Zusatz dagegen zur Flüssigkeit der andern Schaale, so nimmt die Ablenkung der Nadel ab.

Enthalten die Schaalen Wasser mit $\frac{1}{10}$ Schwefelsäure, so ändert ein Zusatz von schwefels. Zinkauflösung auf Seiten des Zinks die Stärke der Strömung nicht; Zusatz von Salpetersäure auf dieser Seite schwächt sie, auf der entgegengesetzten Seite aber verstärkt sie.

Enthält die Schaale, worin die Kupferplatte sich befindet, eine gesättigte Auflösung von salpetersaurem Kupfer, die andre eine gesättigte Auflösung von schwefelsaurem Zink, so ändert ein Zusatz von Salpetersäure zur salpetersauren Auflösung, oder ein Zusatz von Schwefelsäure zur schwefelsauren Auflösung (wenn das Zink zuvor blank gemacht wurde) die Stärke des Stroms nicht.

*) Wie es scheint, sind hier die Auflösungen von Alkalisalzen, wie Kochsalz, Salpeter u. s. w. zu verstehen.

**) Kupfer, Eisen, Blei, Zink, Zinn, Silber u. s. w.

### Über den Einfluß der Härte und Beschaffenheit der Oberfläche auf die Positivität und Negativität.

Die nachfolgenden mittelst des Multiplicators gefundenen Resultate rühren von Ritchie *) her. Ihre Zuverlässigkeit möchte nicht sehr groß seyn, da nicht angeführt ist, wodurch sich der Verfasser überzeugt hätte, daß die beobachteten Differenzen im elektrischen Zustande wirklich vom Zustande der Oberfläche und nicht vielmehr von Heterogeneität des Metalls, die selbst bei scheinbarer Homogeneität doch oft alleinige Ursache der Wirkung ist, herrührte.

1) Es wurden zwei weiche Stücke Zink, Kupfer, Eisen oder Messing genommen und von jedem Paar ein Stück auf einem glatten Amboß so hart als möglich gehämmert. Jedes solches Paar zeigte, zu einem galvanischen Elemente mittelst des Multiplicators und verdünnter Schwefelsäure verbunden, eine Strömung, zufolge deren sich das härtere Metall positiv verhielt. Ein weiches und ein gehärtetes Stück Stahl gaben unter denselben Umständen ein entgegengesetztes Verhalten, indem das weichere positiv erschien.

2) Von zwei weichen Zinnstücken wurde das eine mit einer dreieckigen Feile so gefurcht, daß es eine doppelt so große Oberfläche bekam, als das andre. Das eben gebliebene verhielt sich in verdünnter Salzsäure positiv.

### Elektricitätserregung durch Berührung von Gold mit andern Substanzen.

Becquerel **) hat über das elektromotorische Verhalten verschiedener Substanzen zum Golde an einem sehr empfindlichen condensirenden Bohnenberger'schen Elektroskop, dessen Condensatorplatten vergoldet waren, Versuche auf die gewöhnliche Weise angestellt, so jedoch, daß die Finger, mit denen das zu prüfende Metall angefaßt wurde, zuvor mit dest. Wasser gewaschen waren und das Instrument in einem mit Ätzkalk ausgetrockneten Glasgehäuse stand. Die Resultate, die er hierbei fand, waren folgende:

Substanzen, deren Elektricitätsentwickelung bei Berührung mit dem Golde nicht stark genug war, um durch das angewandte Elektroskop bemerklich gemacht zu werden, waren folgende: Platin, Kupferoxyd, Eisen auf der höchsten Schweflungsstufe, Eisenoxyd durch Wasserdampf bereitet, oligistisches Eisen. — Braunstein und Graphit, zuvor mit dest. Wasser gewaschen, zeigte sich negativ gegen das Gold, so wie gegen alle vorgenannte Körper.

### Ladungsphänomene.

In einer ziemlich langen Abhandlung von Marianini ***) über den Ladungszustand, den die Metalle unter dem Einfluß der Schließung anneh-

*) Phil. transact. 1829. P. II. oder Baumg. VIII. S. 104.
**) Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 292.
***) Ann. de Ch. et de Ph. XLV. 33.

men, scheint mir nichts wesentlich Neues vorzukommen außer etwa Folgendes:

1) Man hat geleugnet, daß die Elektricität von Drähten, welche unter dem Einfluß der Kette eine Ladung erlangt haben, vom Condensator nachgewiesen werden könnte. Dies ist jedoch Marianini an einem Silberdraht, der durch eine Säule eine Ladung erfahren hatte, geglückt; und im Grunde war dies auch zu erwarten, ohne daß man deßhalb an eine vom Draht zurückgehaltene Elektricität zu denken hätte: der Draht hatte nämlich, wie es wenigstens scheint (denn die Beschreibung ist nicht deutlich), als verbindender Bogen zwischen zwei Gefäßen, in welche die Pole einer Säule tauchten, gedient, so daß er durch die Ladung in zwei einander elektromotorisch entgegengesetzte Hälften getheilt worden war, oder einen einfachen Elektromotor bildete.

2) Wenn man Messing oder Kupfer, die mittelst einer Säule eine so starke Ladung erlitten haben, daß sie sogar positiver als Zink sind, herausnimmt und abwäscht, so werden sie nicht nur negativer als Zink, sondern sogar negativer als bevor sie dem Versuch unterworfen wurden. (Die Flüssigkeit, in welcher die Ladung erfolgte, ist nicht angegeben).

Ohm *) hat die Erfahrung gemacht, daß conc. Schwefelsäure zur Schließung zwischen den aus Platin oder Gold bestehenden Polarstreifen einer Säule angewandt, eine stärkere Ladung an dem positiven Polarstreifen als an dem negativen Polarsteeifen hervorbringt, dagegen bei Ätzkalilauge das Umgekehrte Statt findet. Mindestens gestehe ich, daß mir die von ihm in diesem Bezuge angeführten Versuche sich sehr wohl danach erklären zu lassen scheinen, daß z. B. der in die Säure ragende Theil der Oberfläche des den positiven Pol darstellenden Platins Negativität erlangt gegen den außer der Säure bleibenden Theil; jedoch legt Ohm selbst vielmehr die Erklärung einer zwischen Platin und Säure sich bildenden Gegenspannung unter **).

Die Versuche, welche Ohm in diesen Beziehungen angestellt hat, sind von Interesse, und verdienen nachgelesen zu werden; indeß scheinen sie mir nicht unter einer so einfachen Form dargestellt, als sie vielleicht in Bezug auf

*) Schweigg. J. LX. 32.

**) Eine sich zugleich ausbildende Ungleichheit des Übergangswiderstandes an beiden Polarstreifen dürfte übrigens hier doch wohl auch noch mit zu berücksichtigen seyn; denn, wenn auch nach anderweiten Versuchen Ohm's eine solche für Polardrähte aus Gold oder Platin bei einer Säule aus 100 Paaren nicht in Rechnung kommt, so möchte sie doch bei so wenigen Paaren (2 bis 3), als Ohm zu obigen Versuchen anwandte, von sehr namhaftem Einfluß seyn. Ich habe mindestens bei meinen Versuchen in verdünnten sauren Flüssigkeiten mit der den Ladungszustand bezeichnenden Veränderung der elektromotorischen Kraft (in meiner Schrift A genannt) stets Veränderungen im Übergangszustande beobachtet, die sich ungleich für die differenten Glieder der Kette zeigten. Ich gestehe deshalb, daß mir die in Rede stehenden Versuche Ohm's kein recht reines Resultat zu geben scheinen. — Daß Platin und Gold keine sichtbaren Veränderungen im Laufe des Geschlossenseyns erfuhren, kann wohl bei den Beobachtungen, die Ohm selbst am Kupfer gemacht hat, nicht auffallen.

den eigentlich betreffenden Gegenstand zuließen und die Resultate noch mit einigen Complicationen behaftet. Ich ziehe es deshalb vor, hinsichtlich derselben auf die Originalabhandlung zu verweisen.

## Umkehrungsphänomene.

Marianini *) hat neuerdings den Umstand, daß manche Metalle in manchen Flüssigkeiten das entgegengesetzte elektromotorische Verhältniß zeigen, als ihnen nach der Stellung in der galvanischen Spannungsreihe zukommen sollte, von denselben Umständen abgeleitet, von denen es schon früher von meiner Seite geschehen ist. Ich darf wohl ohne Anmaßung sagen, daß meine eignen viel vollständigern Versuche **) die specielle Anführung derer von Marianini in diesem Bezuge überflüssig machen. Indeß will ich bemerken, daß er auch bei Zinn und Kupfer, so wie bei Eisen und Kupfer in Ammoniakflüssigkeit nachgewiesen hat, daß die umgekehrte Wirkung erst im Verlaufe der Schließung aus der normalen durch Umkehrung entsteht, welche Fälle in meiner Abhandlung über diesen Gegenstand nicht enthalten sind. Auch folgende Tabelle von de la Rive (Pogg. XV. 125) enthält mehrere hierher gehörige Fälle.

In nachfolgender Tafel ist jedes Metall positiv gegen das vorhergehende, negativ gegen das folgende:

| In conc. Salpetersäure. | In verdünnter Salpetersäure. |
|---|---|
| Oxydirtes Eisen | Silber |
| Silber | Kupfer |
| Quecksilber | Oxydirtes Eisen |
| Blei | Eisen |
| Kupfer | Blei |
| Eisen | Quecksilber |
| Zink | Zinn |
| Zinn | Zink. |

Kohle ist nach de la Rive sowohl in kalter als besonders in bis 100° oder 150° C. erhitzter conc. Schwefelsäure stark positiv gegen Platin, in etwas erwärmtem Königswasser dagegen noch stärker negativ gegen dasselbe Metall. (Im ersten Falle wird die Kohle, im letzten das Platin stark angegriffen). — Eisen ist in verdünnter Säure ungemein positiv gegen Arsenik; in schmelzendem Kalihydrat dagegen negativ. Eisen ist in der Regel positiv gegen Gold; taucht man aber beide in Quecksilber, nachdem man das Gold mit Salpetersäure benetzt hat, so ist es negativ gegen dieses.

Wetzlar ***) hat den Umstand, daß Eisen in salpetersaurer Silberlösung eine bedeutende Elektro-Negativität annimmt, neuerdings noch vollends durch folgenden Versuch bestätigt: Wenn man einen blanken Eisen-

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLV. 118.
**) Schweigg. J. LIII. 61. 129. oder Biot III. 93.
***) Schweigg. J. LVI. 206.

streifen einige Minuten in mäßig saure salpetersaure Silberlösung, dann schnell in destillirtes Wasser taucht, hierauf mit einem, ebenfalls mit dest. Wasser befeuchteten, frischen Eisenblech am Multiplicator zur Kette in einer Salzlösung, z. B. Salpeterlösung oder Lösung von salpetersaurem Kupfer schließt, so zeigt der erste Ausschlag des Multiplicators an, daß der in der salpetersauren Silberlösung gewesene Streifen wirklich negativer als der frische ist. Doch verschwindet dieser negative Zustand bald in der Salzlösung.

Daß nicht etwa salpetersaure Silberlösung, welche an dem Eisen haften geblieben, Ursache der erlangten Negativität sey, glaubt Wetzlar dadurch erwiesen: 1) daß die Negativität durch den Multiplicator unter den angegebenen Umständen selbst dann noch angezeigt wird, wenn man auch den mit der Silberlösung in Berührung gewesenen Streifen nach dem Abspülen sogleich in ein zweites Glas mit dest. Wasser und dann erst auf obige Weise in die Salpeterlösung einsenkt, wo es doch scheint, als müßte alle Silberlösung rein abgespült seyn, um so mehr, da die zweite Waschflüssigkeit mit Kochsalz geprüft kaum mehr als eine Spur davon anzeigte. 2) Daß, wenn gleich schon mäßiges Reiben mit Löschpapier beim Eisen den elektronegativen Zustand, den es in der salpetersauren Silberlösung erlangt hat, aufzuheben vermag, welches man allerdings der Entfernung eines dünnen Überzuges beimessen könnte, doch an Stahl (Stricknadeln) diese Erscheinung viel fester haftet, indem solcher sehr derbes und starkes Reiben mit Löschpapier verträgt, ohne seinen elektronegativen Zustand aufzugeben.

Man kann sogar nach Wetzlar Stahldraht, der in salpetersaurer Silberlösung die in Rede stehende negative Modification erlangt hat, mittelst eines, mit pariser Roth belegten, Leders poliren, selbst in dessen Oberfläche gelinde Feilstriche machen, ja dieselbe behutsam *) (nicht zu stark) mit einem stählernen Schaber abschaben, ohne dessen Negativität merkbar zu beeinträchtigen. Indeß gesteht Wetzlar einerseits, daß schon ½ Minute langes Eintauchen in destillirtes Wasser, andernseits Reiben mit Rostpapier, hinreichen, dem Stahle seine Negativität zu benehmen. Er vermuthet, daß letzteres deshalb der Fall sey, weil jener negative Zustand eine starke Erschütterung der Theilchen, die jenes Reiben hervorzubringen geeignet sey, zumal in Verbindung mit der hierbei Statt findenden Erhitzung, nicht vertrage: ich gestehe indeß, daß es mir wahrscheinlicher scheint, deshalb, weil das Abreiben mit Rostpapier unstreitig sicherer eine Entfernung der ganzen veränderten Oberfläche bewirkt, als Abreiben mit dem Polirleder oder Abschaben mit dem Schaber. Die Ansicht Wetzlar's, daß die erlangte Negativität auf einer sogenannten elektrodynamischen Veränderung (die doch nur eine causa occulta wäre) beruhe, scheint mir immer noch hinter

*) Also doch wahrscheinlich so, daß nicht die ganze Oberfläche durch das Schaben entfernt wird. F.

der von Fischer aufgestellten zurückzustehen: daß ein hartnäckig haftender Überzug von salpetersaurer Silberlösung *) Schuld an jener Veränderung sey, zumal, wenn man diesen Umstand in Beziehung setzt mit den S. 380 angeführten Erfahrungen Ohm's.

Folgender, ein besondres Umkehrungsphänomen betreffender, Versuch **) ist, wiewohl schlechthin hingestellt nicht von besonderer Wichtigkeit, doch nicht ohne Interesse. Er schließt sich an eine andre Reihe von Versuchen an, die ich in meinen galv. Maßbestimmungen bekannt gemacht habe, S. 115 ff., die jedoch ebenfalls noch nicht bestimmt zu deuten sind.

Man schließe ein Plattenpaar Zinn-Kupfer, von welchem jede Platte beiläufig 8 Quadratzoll erregende Oberfläche darbietet, in einem weiten Troge, auf dessen Boden sich die Platten in Fugen in einigen Zollen Abstand eingesetzt finden, in Wasser, das mäßig mit Salzsäure angesäuert ist, mittels des Multiplicators, und lasse die Kette ungefähr ½ Stunde geschlossen. Taucht man jetzt in denselben Trog, wo es auch sey, ob zwischen, zur Seite, oder hinter jenen Platten, wenn selbst in namhafter Entfernung davon, eine Zinkplatte ein, und verbindet diese zugleich metallisch (durch einen Draht) ***) mit der Kupferplatte: so wird sich die Nadel des Multiplicators umkehren, und zwar, wenn man selbst die Zinkplatte nur zu ein paar Quadratlinien Tiefe in die Flüssigkeit eintaucht, wiewohl gleich vorher der Strom noch stark genug war, um die Doppelnadel merklich senkrecht auf den Strom zu stellen. Ja hat man eine solche Kette längere Zeit, z. B. einige Stunden, oder einen Tag geschlossen gelassen, so kommt man auf einen Punkt, wo man die Flüssigkeit blos mit einer Ecke der Zinkplatte, so daß sie nur capillär davon emporgezogen wird, zu berühren braucht, um die Umkehrung der Magnetnadel zu bewirken.

Der Erfolg dieses Versuchs, der auch z. B. mit Kupfer-Silber statt Zinn-Kupfer gelingt, steht jedoch ganz in Abhängigkeit von der Wirkungsperiode der Kette. In der That, wenn man ihn gleich anfangs nach der Schließung derselben anstellt, bemerkt man, daß eine nicht unbeträchtliche Größe des Zinks eingetaucht werden muß, um die Strömung umzukehren, daß aber die hierzu erforderliche Größe in dem Maaße abnimmt, als die Wirkungsperiode der Kette fortschreitet, bis man endlich zu jenem Punkte gelangt, wo diese Größe gar nicht mehr in meßbaren Betracht gegen die Größe der ursprünglichen erregenden Oberfläche kommt. Die Umkehrung, die sich dann durch die leiseste Berührung der Flüssigkeitsfläche mit der Zinkecke an irgend einer Stelle des Troges hervorbringen läßt, wofern nur

*) Oder vielleicht salpetersaurer Eisenlösung, die sich im Momente des Eintauchens bildet.

**) Schweigg. J. LVII. 13.

***) Ich nehme diese Verbindung so vor, daß ich in dasselbe Gefäß mit Quecksilber, in welches das eine Multiplicatorende und ein an die Kupferplatte gelötheter Draht taucht, den an die Zinkplatte gelötheten Draht hinzutauche.

zugleich das Zink in metallische Verbindung mit dem Kupfer gesetzt wird, hat sehr viel Überraschendes.

Im Zusammenhange mit dieser Abhängigkeit steht der Umstand, daß, wenn man gleich anfangs der Schließung eine solche Größe des Zinks eintaucht, welche die Umkehrung noch nicht hervorzurufen vermag, doch im Laufe des Geschlossenseins, während die Zinkplatte mit der Kupferplatte verbunden bleibt, diese Umkehrung sich in kürzerer oder längerer Zeit von selbst einstellt.

## Strömung durch ungleichzeitiges Eintauchen homogener Platten.

Über die Strömungswirkungen, welche durch ungleichzeitiges Eintauchen homogener Metalle erregt werden, sind drei ziemlich umständliche Abhandlungen, 1) von Tünnermann in Trommsd. N. J. XVII. St. 2. S. 27; 2) von Wetzlar in Schweigg. J. LVIII. 302*); 3) von Marianini in den Ann. de Ch. et de Ph. XLV. 40, 121, 126 erschienen. Ich kann jedoch bei dem besten Willen weder in den geführten Raisonnements, noch den angestellten Versuchen dieser Physiker eine Aufklärung dieses, wie mir scheint, immer noch dunkeln Gegenstandes finden, und verweise daher, da mir die detaillirte Anführung der Beobachtungen von zu wenig Gewinn scheint, auf die Originalabhandlungen selbst. Marianini leitet den Umstand von einer Veränderung in den elektromotorischen Eigenschaften her, welche die zuerst eingetauchte Platte durch die Flüssigkeit erfährt; allein es fragt sich eben, worin diese Veränderung bestehe.

Nach Marianini zeigen auch Goldplatten so wie Platinplatten die Erscheinung in Salpetersäure, welche mit einigen Tropfen Salzsäure versetzt ist; die zuerst eingetauchte Platte ist hier negativ.

## Kreuzung elektrischer Ströme.

Marianini**) hat durch eine Menge sehr abgeänderter Versuche dargethan, daß elektrische Ströme, die sich beliebig in einer Flüssigkeit kreuzen, einander in keiner Art stören, worin er eine Analogie des elektrischen Fluidums mit dem Lichte findet. Kemp***) hat ähnliche Resultate in Bezug auf Ströme, die durch feste Leiter gehen, erhalten.

Beispiels halber wollen wir einige ihrer Versuche mittheilen:

Marianini nahm einen hölzernen Würfel, der als eine Art Klötzchen zur Befestigung und zum Auseinanderhalten der Platten diente, und befestigte mittelst Schrauben an zwei einander gegenüberstehenden (verticalen) Flächen des Würfels respectiv eine Zink- und eine Kupferplatte, die

*) Die angekündigte Fortsetzung dieser Abhandlung ist, ich weiß nicht aus welchem Grunde, unterblieben.

**) Ann. de Ch. et de Ph. XLII. 131; oder Schweigg. J. LVIII. 177; oder Baumg. Zeitschr. VII. 337; oder Pogg. XVIII. 276.

***) Baumg. Zeitschr. VII. 351.

durch den Multiplicatordraht in Verbindung standen. Dies Klötzchen mit seinen Platten ward in schwach gesalzenes Wasser getaucht; die Nadel des Multiplicators wich um 12° ab. Ganz dieselbe Ablenkung ward erhalten, als der Versuch mit der Modification wiederholt wurde, daß an die beiden anderen verticalen Flächen des Würfels ein anderes Kupfer- und Zinkpaar befestigt ward, das durch einen Schließungsdraht in Verbindung stand.

Ähnliche Versuche wurden mit säulenartigen Apparaten, mit drei sich kreuzenden Strömen, mit Kreuzung unter spitzen Winkeln u. s. w. angestellt; immer war das Resultat das nämliche, daß diese Kreuzung nichts an der Wirkung veränderte.

Nach Kemp, wenn man durch einen Theil des metallischen Körpers, welcher eine einfache Kette schließt, in der sich zugleich ein Multiplicator befindet, den Strom eines Becherapparates von 60 Plattenpaaren leitet *), so daß der Strom mit dem Strome der Kette in entgegengesetzter Richtung geht, so wird er in der Ablenkung der Nadel keine Änderung, und wenn er in derselben Richtung hindurchgeht, nur eine geringe Verstärkung hervorbringen **).

Giebt man dem Schließungsdrahte einer Säule an zwei Stellen seiner Länge respectiv zwei Biegungen, deren jede man in den Schenkel einer mit Flüssigkeit gefüllten Uförmigen Röhre leitet, in deren andern Schenkel die Poldrähte einer andern Säule geleitet werden, so leuchtet ein, daß der zwischen beiden Biegungen enthaltene Theil des Schließungsdrahtes zugleich die Communication zwischen den Polen der zweiten Säule bewirkt, indem er nach Art eines Zwischendrahtes die Gefäße verbindet, in welche die Poldrähte dieser Säule tauchen. An den in diese Flüssigkeit tauchenden Biegungen zeigen sich dann dieselben chemischen Veränderungen (Kemp

*) Unstreitig geschieht dies so, daß die beiden Polardrähte respectiv mit zwei Stellen des Schließungsbogens der einfachen Kette in Verbindung gesetzt werden, wo dann das zwischen beiden Polardrähten befaßte Stück jenes Schließungsbogens zugleich zur Schließung der einfachen Kette und der Säule dient.

**) Diese Verstärkung, wo sie beobachtet wird, möchte wohl daher rühren, daß der Strom der Säule bei der angezeigten Anordnung im Grunde zwei Wege findet, die er durchlaufen kann. 1) den Weg durch den Theil des Schließungsbogens, der zwischen beiden Polardrähten befaßt ist; 2) den, wegen des Vorhandenseins der Flüssigkeit unstreitig viel schlechter leitenden Weg durch den übrigen Theil der Kette, welcher den Multiplicator enthält. Er wird sich also nach bekannten Gesetzen zwischen beiden Wegen nach Verhältniß ihres Leitungsvermögens theilen, und deshalb auch ein Theil vom Strome der Säule durch den Multiplicator gehen, und so die Verstärkung hervorbringen müssen. Nach demselben Umstande muß freilich auch eine Schwächung bei entgegengesetzter Richtung der Strömung beobachtet werden, wiewohl Kemp diese in Abrede stellt. Dieser Umstand möchte übrigens auch bei Marianini's Versuchen in Betracht zu ziehen sein; daher man doch wohl nicht erwarten dürfte, daß unter allen Umständen die von ihm angeführte Invariabilität der sich kreuzenden Ströme Statt finde; es muß hier auf das respective Leitungsvermögen der Theile viel ankommen.

F.

prüfte die Farbenänderungen der Blaukohltinctur), als sie an einem Zwischendrahte der zweiten Säule, auch wenn er nicht zur Schließung der ersten gedient hätte, Statt gefunden haben würden.

---

## VIII. Wärmeerscheinungen der galvanischen Kette.

### Über Wärmeentwickelung durch die galvanische Kette, von de la Rive *).

1) Die schon früher bekannte Erfahrung, daß wenn eine starke Säule mittelst einer Kette, welche aus abwechselnd an einander gefügten, gleich dicken und gleich langen, Platin- und Silberdrähten besteht, geschlossen wird, die Platindrähte glühend werden, während sich die Silberdrähte nicht merklich erhitzen, fand de la Rive bei öfterer Wiederholung bestätigt.

2) Wenn der Strom nicht so stark ist, daß die Drähte der Kette, welche sich erhitzen müssen, in ihrer ganzen Länge glühend werden könnten, so zeigt sich das Glühen nur an den Einhängepuncten, und im Allgemeinen, wenn man aus mehreren an einander gefügten, entweder homogenen oder heterogenen, Metalldrähten einen Leiter bildet, sind es jedesmal die den Berührungspuncten zunächst liegenden Portionen, welche sich am meisten erhitzen und allein glühend werden, falls die Säule nicht so stark ist, daß die ganze Kette zum Glühen kommen kann.

3) Die Temperaturerhöhung der schließenden Flüssigkeit ist immer beträchtlicher an demjenigen Pole, an welchem das geringere Gasvolumen entwickelt wird, so z. B. bei der Zersetzung des Wassers am positiven Pole, wo der Sauerstoff auftritt, stärker, als am negativen oder Wasserstoffpole **).

5) Ein Mittel, die Wärmeentwickelung im Innern einer Flüssigkeit, die zwischen die Pole einer Säule gebracht wird, zu vermehren, besteht darin, die Flüssigkeit in mehrere Zellen, deren Wände jedoch nicht metallischer Beschaffenheit sein dürfen, zu vertheilen, z. B. in Zellen von thierischer Blase, oder sie von einem Körper capillar auffsaugen zu lassen.

Leitet man einen und denselben Strom successiv durch eine Flüssigkeit, die in einem Glasrohre von gewisser Weite und Länge enthalten ist, und durch einen mit derselben Flüssigkeit benetzten Baumwollendocht von gleicher Länge und Dicke mit dem Rohre, so bleibt die Temperatur bei der in dem Rohre enthaltenen Flüssigkeit unverändert, während sie bei der in dem

*) Bibl. univ. XL. 40 oder Pogg. XV. 257.

**) Der Verfasser führt keine Beispiele von Flüssigkeiten an, wo die Wärmeentwickelung am entgegengesetzten Pole bei dort Statt findender stärkerer Gasentwickelung stärker wäre.

Dochte befindlichen Flüssigkeit beträchtlich steigt. Der beste Apparat aber, dessen man sich zu dergleichen Versuchen bedienen kann, ist der Stengel einer fetten, etwas saftreichen, Pflanze. Die Wärme, welche er im Kreise einer Säule entwickelt, ist so beträchtlich, daß in den beiden Endstücken, in der Nähe der eingesteckten Platindrähte, die mit den Polen der Säule in Verbindung stehen, das Wasser ins Sieden geräth.

6) Obgleich eine Säule aus wenigen Platten von großer Oberfläche hinreicht, Metalldrähte ins Glühen zu bringen, so hat man doch *) eine größere Zahl von Plattenpaaren nöthig, um dünne Metallblättchen zu verbrennen, oder um eine Licht- und Wärmeentwickelung zwischen zwei Kohlenspitzen zu erhalten, oder um, beim Durchgange des Stromes durch Flüssigkeiten, eine Temperaturerhöhung zu bewirken.

Es vermag z. B. nach dem Verfasser eine Säule von 60 Plattenpaaren, welche die drei letzten Klassen von Erscheinungen hervorzubringen vermag, nicht den dünnsten Platin- oder Eisendraht ins Glühen zu versetzen, während 6 Plattenpaare derselben Säule die letzte Wirkung, aber keine der drei ersten, zu leisten im Stande ist.

## Galvanische Funken in Flüssigkeiten.

Wenn man die Biegung einer Vförmig gekrümmten Röhre mit Quecksilber ausfüllt, in die beiden Schenkel leitende Flüssigkeit gießt, dann einen Platindraht durch den einen Schenkel bis zu einer kleinen Entfernung ($\frac{1}{2}$ Millimeter oder weniger) vom Quecksilber, den andern bis in das Quecksilber einsenkt, endlich den ersten Draht mit dem positiven, den zweiten mit dem negativen Pole einer Säule in Verbindung setzt, so erfolgt im Augenblicke der Schließung eine Anziehung des Quecksilbers gegen den positiven Draht, wie dies schon früher bekannt ist; öfters aber bemerkt man auch zugleich in demselben Augenblicke die Entstehung eines Fünkchens zwischen Draht und Quecksilber in der Flüssigkeit. Mariani **) hat über die Umstände, welche diese letzte Erscheinung begünstigen, eine weitläufige Reihe von Versuchen angestellt, die zu folgenden Resultaten geführt haben. Die Farben der Funken sind eben so beschaffen, wie in der Luft (nicht näher charakterisirt). Alles, was die Wirksamkeit der Säule befördert, befördert auch das Erscheinen der Funken, dagegen der Funke um so leichter erscheint, je schlechter die Flüssigkeit leitet, die er in der Röhre zu durchbrechen hat, es wäre denn, daß das Leitungsvermögen so gering wäre, daß die Schwächung, welche die ganze Kraft der Säule hierdurch erfährt, den localen Vortheil des schlechten Leitungsvermögens überwöge. Im Allgemeinen ist er daher leichter in Brunnenwasser als in Salzwasser, noch leichter in destillirtem Wasser und Alkohol zu erhalten, dagegen nicht leicht in Öl, wenn man auf die angegebene Art verfährt, dagegen er auch hier eintritt, wenn

*) Und dies stimmt ganz mit Ohm's Theorie überein.

**) Bibl. univ. 1831. Juillet. p. 283.

man nach Schließung des Kreises auf die angezeigte Art den positiven Draht nun durch das Öl hindurch bis zur Berührung mit dem Quecksilber selbst bringt. Auch in den besser leitenden Flüssigkeiten läßt er sich auf diese Weise erhalten; wofern man die Schließung mittelst Eintauchens des Drahtes durch die Flüssigkeit hindurch bis zum Quecksilber selbst bewirkt, und dabei schnell zu Werke geht, widrigenfalls vor dem Anlangen des Drahtes an das Quecksilber schon eine zu starke Schwächung des Apparates eingetreten sein könnte. Hat man einen Funken durch eine einmalige Schließung auf eine der angegebenen Arten erhalten, so wird bei neuen Öffnungen und Wiederschließungen ein zweiter, dritter Funke u. s. f. eintreten können, die jedoch im Allgemeinen schwächer sein, oder auch wohl ganz ausbleiben werden, wenn man nicht die Kette lange genug geöffnet gelassen hat, daß der Apparat seine durch die Schließung geschwächte Intensität wiedererlangt.

An dem negativen Drahte ist die Erscheinung auch hervorzubringen, doch schwieriger als am positiven, was unstreitig daher rührt, daß durch die absteigende Bewegung, die das Quecksilber, dem negativen Drahte gegenüber, im Augenblicke der Schließung erhält, die Entfernung desselben vom Drahte vermehrt wird, während umgekehrt am positiven Pole die Näherung des Quecksilbers gegen den Draht die Erscheinung begünstigt; auch sieht man hier, wenn der Draht nicht ganz nahe ans Quecksilber gebracht war, öfters eine bemerkliche Zwischenzeit zwischen dem Augenblicke der Schließung und dem, wo der Funken erscheint, verfließen.

Die Erscheinung findet nicht bloß bei Platindrähten, sondern auch eben so gut bei Drähten aus anderen Metallen, als Silber, Kupfer, Eisen Statt; sie schien dem Verfasser sogar bei Eisendrähten manchmal lebhafter auszufallen, als bei den übrigen Drähten. Je dünner der Draht ist, an welchem der Funke erscheinen soll, um so leichter entsteht das Phänomen. Die meisten Versuche wurden vom Verfasser mit Drähten von 0,45 Millimeter Dicke angestellt; doch erhielt er die Funken noch leichter mit solchen von bloß 0,14 Millimeter Dicke, dagegen sie bei Drähten von 0,88 Millimeter Dicke bloß unter den günstigsten Umständen erschienen. Bei einer Veränderung des Durchmessers der Röhren von 3 bis 8 Millimeter wurde kein Unterschied in der Erscheinung bemerkt, dagegen wenn dieser Durchmesser 1 Centimeter überstieg, so trat die Erscheinung seltener ein, weil dadurch die begünstigende Bewegung des Quecksilbers geschwächt wurde. Zum Gelingen des Versuchs ist nicht nöthig, daß das Quecksilber rein sei; es schadet nichts, wenn es etwas Blei oder Zinn enthält; dagegen wurden keine Funken mehr erhalten, wenn dem Quecksilber ein Cylinder von Kupfer, Blei oder anderen Metallen substituirt worden, wenn man auch der mit der Flüssigkeit in Berührung befindlichen Oberfläche des Metalls dieselbe Krümmung gab, welche das Quecksilber von Natur in der Röhre annimmt. Dagegen sieht man Funken zwischen den in einer Flüssigkeit (destillirtem Wasser, Olivenöl) einander genäherten Spitzen zweier

Polardrähte bei Schließung des Kreises entstehen, mögen die Drähte von Eisen, Kupfer, Silber oder Platin oder auch der eine von einem, der andere von einem andern Metalle sein. Lassen sich vermöge der Wirkungsabnahme einer Säule keine Funken zwischen den Platindrähten in der Flüssigkeit mehr erhalten, so braucht man sie nur mit einer Kohlenschicht zu überziehen, indem man sie einige Zeit in die Flamme einer Kerze hält, um die Funken in der Flüssigkeit bei der Schließung sofort wiedererscheinen zu sehen.

Bei den Versuchen, wo der Funken zwischen einer Platinspitze und Quecksilber entsteht, sieht man, besonders wenn die Säule sehr wirksam ist, fast stets in der Flüssigkeit bei dem Quecksilber eine dunkelaschfarbene Wolke, wahrscheinlich von Quecksilberoxyde herrührend, entstehen. Auch als der Funken zwischen zwei in Olivenöl getauchten Drähten entstand, sah man in demselben ein aschfarbenes Bläschen sich bilden, welches langsam aufstieg, beim Anlangen an der Oberfläche zerplatzte und unter schwacher Explosion eine kleine Rauchwolke ausströmen ließ, deren Geruch dem von Öl, welches man auf glühende Kohlen gießt, glich. In geschmolzenem Wachs trat dieselbe Erscheinung mit noch stärkerer Explosion ein.

### Funken durch die Flamme.

Marianini *) beobachtete, daß, wenn die Spitzen zweier Platinpolardrähte einander in der Flamme einer Lampe genähert wurden, leichter ein Funken zwischen ihnen entstand, als durch die Luft; doch ergab sich bei näherer Untersuchung, daß dieser Umstand bloß auf Absatz einer Kohlenschicht an den Drähten beruhete, welche die Entstehung des Phänomens erleichtert. In der That zeigten sich die Funken eben so leicht in der Luft, als in der Flamme, wenn die Enden der Metalldrähte mit einer kohligen Schicht (durch Hineinhalten in eine Flamme) zuvor überzogen waren; ferner findet die Begünstigung der Funkenerzeugung bloß in denjenigen Flammen Statt, welche wirklich einen Kohlenabsatz auf dem Draht veranlassen, so von Wachs, Öl und Talg, nicht aber bei denen, wo dies nicht der Fall ist, z. B. von Alkohol und Schwefel. Der Verfasser hat bei Anstellung dieser Versuche auch die Entstehung der schon von Anderen beobachteten Rußdendriten wahrgenommen, ohne etwas Neues darüber mitzutheilen.

### Formel für die Kraft, mit welcher ein in der Kette befindlicher Theil zu erglühen strebt **).

Unter Voraussetzung, daß die Kraft, mit der ein in der Kette befindlicher Körper zu erglühen strebt, und mithin die Intensität dieses Erglühens der Intensität des diesen Körper durchlaufenden Stromes direct proportional ist, außerdem aber abhängt von der besondern Natur des Kör-

*) Bibl. univ. 1831. Juillet. p. 269.

**) Ohm in Kastn. Arch. XVI. 1.

pers (welches die natürlichste Annahme ist, die man über diesen Gegenstand zu Grunde legen kann), wird man folgende Formel*) finden, um die Abhängigkeit der Stärke des Erglühens von den verschiedenen Umständen der Kette auszudrücken, bei welcher Formel jedoch der erkältende Einfluß der Luft, so wie die Wärmeentziehung, welche der sich erhitzende Theil der Kette von Seiten der kalten Theile derselben, mit denen er in Berührung ist, erfährt, vernachlässigt ist **).

$$G = \frac{A}{\left(L\omega + \frac{l}{k}\right)\chi} \text{***)}$$

Hierin ist G die Stärke, mit welcher der Körper (in der Regel ein Draht) von der Länge l, dem Querschnitte $\omega$ und dem (von Materie und Temperatur abhängigen) Leitungsvermögen k erglüht, wenn er in eine

*) Herleitung der Formel. Ist J die Intensität des Stromes, welcher einen Theil der Kette durchläuft, und haben die anderen Buchstaben die Bedeutung wie oben, so wird die Voraussetzung, daß die Stärke des Erglühens eines Körpers der Intensität des ihn durchlaufenden Stromes direct proportional ist, und außerdem abhängt von Materie und Temperatur desselben, sich durch folgende Gleichung ausdrücken lassen:

$$G = \frac{J}{\chi}$$

Nun ist die Intensität des Stromes in dem zu erglühenden Theile

$$= \frac{A}{(L + \Delta)\,\omega}$$

wo $\Delta$ den Leitungswiderstand des zu erglühenden Theiles bezeichnet (zufolge des Satzes, daß die Intensität des Stromes in jedem Theile der Kette gleich ist der gesammten Quantität Elektricität, die ihn durchströmt, dividirt durch den Querschnitt des Theiles). Die Größe $\Delta$ aber kann nach bekannten Gesetzen durch $\frac{l}{k\omega}$ ausgedrückt werden, wodurch sich die obige Formel ergiebt.

**) Um letztern Umstand in Betracht zu ziehen, müßte man das Wärmeleitungs- und Stralungsvermögen des zu erglühenden Drahtes und der benachbarten Theile, so wie das Lagenverhältniß des Drahtes zu den benachbarten Theilen in die Formel aufnehmen, was dieselbe sehr compliciren und einen allgemeinen Ausdruck dafür zu finden sehr erschweren würde. Ich bemerke hierbei, daß es wahrscheinlich die Vernachlässigung dieser Umstände ist, warum das Phänomen, daß ein Draht, wenn seine Glühkraft abnimmt, noch in der Mitte glühend bleibt, während er schon an den Enden erkaltet, nicht aus der Ohm'schen Formel hervorgeht, aus der ein stets gleichförmiges Glühen eines Drahtes von gleichförmiger Dicke und Materie in seiner ganzen Länge hervorgehen würde. Unstreitig nämlich wird in der Wirklichkeit den Drahtenden durch die Metallplatten, mit denen sie in Berührung sind, die Wärme schneller entzogen, als der Mitte.

***) Unter der Voraussetzung, daß $\chi = k$, würde sich diese Formel in folgende einfachere verwandeln:

$$G = \frac{A}{Lk\omega + l}$$

Kette gebracht wird, deren elektromotorische Kraft*) = A und deren gesammter Leitungswiderstand, mit Ausnahme des zu erglühenden Drahtes, = L ist.

$\chi$ (Glühcoefficient) ist ein für verschiedene Körper verschiedener Coefficient, welchem die Glühkraft umgekehrt proportional ist. Insofern die Versuche zeigen, daß die Körper in dem Grade schwerer ins Glühen kommen, als ihr Leitungsvermögen für Elektricität größer ist, wäre es möglich, daß der Coefficient $\chi$ dem Coefficienten k einfach proportional wäre oder sogar mit ihm zusammenfiele, was jedoch noch durch Versuche nicht ausgemittelt ist. Jedenfalls wird er eine Function von k sein**). Hierbei muß bemerkt werden, daß k nicht allein von der Materie, sondern auch von der Temperatur der Körper abhängt, nämlich daß sein Werth in erhöheter Temperatur abnimmt, jedoch in einem bis jetzt nicht bestimmten Verhältnisse; daher sind k und $\chi$ eigentlich selbst Functionen von G oder, mit anderen Worten, sie werden bei übrigens gleichen Umständen für verschiedene Grade des Erglühens einen verschiedenen Werth erhalten. Bei der Unkenntniß der Abhängigkeit dieses Werthes von der Temperatur kann daher die obige Formel bis jetzt nicht sowohl dienen, die verschiedenen Grade des Erglühens genau herzuleiten, die man durch verschiedene Abänderungen der Kette erhält, weil man den Werth von k und $\chi$ für diese Grade nicht kennt***), als vielmehr die verschiedenen Abänderungen der Kette oder die verschiedenen Drahtlängen genau kennen zu lernen, für welche derselbe Grad des Erglühens bei Drähten aus derselben Materie erlangt wird, weil in diesem Falle k und $\chi$ constante Werthe behalten. Setzt man noch überdies immer Drähte von gleicher Dicke voraus, so wird die Vergleichung auch unabhängig von dem erkältenden Einflusse der Luft werden, da Drähte von gleicher Materie, gleicher Temperatur und gleicher Dicke einen gleichen erkältenden Einfluß erleiden werden.

Ungeachtet der Beschränkung, die uns solchergestalt bis jetzt in der Anwendung obiger Formel aufgelegt ist, lassen sich doch mehrere nicht unwichtige Resultate daraus herleiten, die sich auch, so weit zuverlässige Erfahrungen reichen, bis jetzt mit derselben in Übereinstimmung gezeigt haben, namentlich folgende:

1) Der Grad des Erglühens wächst sowohl durch eine Verkürzung der Länge l, als durch eine Verkleinerung des Querschnitts $\omega$ des zu erglühenden Drahtes; ferner durch eine Vermehrung der elektromotorischen Gesammtkraft A der Kette (also z. B. Vervielfältigung der Plattenpaare) und Verminderung ihres Leitungswiderstandes L (also Vergrößerung der erre-

*) d. i. das Product aus der Zahl in die Intensität der Plattenpaare der Kette.

**) Er könnte aber auch wohl zugleich eine Function von der specifischen Wärme, dem Wärmeleitungsvermögen u. s. w. sein.

***) Was jedoch nicht hindert, im Allgemeinen daraus herzuleiten, durch welche Umstände die Glühkraft geschwächt oder verstärkt werde.

genden Oberfläche, Verstärkung der Leitungsflüssigkeit u. s. w.), wie dies mit bekannten Erfahrungen übereinstimmt.

2) Bei Vernachlässigung des erkältenden Einflußes der Luft würde die Glühkraft im Drahte dieselbe bleiben, wenn der Querschnitt des Drahtes in demselben Verhältnisse wüchse, in welchem der Leitungswiderstand L der übrigen Theile der Kette abnimmt, oder umgekehrt. Da aber ein dickerer Draht einen verhältnißmäßig schwächern erkältenden Einfluß von der Luft erfährt, als ein dünnerer, so wird in der Wirklichkeit die Stärke des Erglühens zunehmen, wenn man $\omega$ vergrößert, während man L in demselben Verhältniß verkleinert; abnehmen, wenn man $\omega$ verkleinert, während man L in demselben Verhältniß vergrößert. Also wird z. B. ein Draht von doppeltem Querschnitte leichter durch eine Kette von der doppelten erregenden Oberfläche *) ins Glühen gebracht werden, als ein Draht von einfachem Querschnitt durch eine einfache erregende Oberfläche, oder man wird, um Drähte von größerer Dicke in denselben Grad des Glühens zu versetzen, die erregende Oberfläche in minderm Grade zu vergrößern brauchen, als den Querschnitt der Drähte.

3) In Ketten, die so beschaffen sind, daß $L\omega$ gegen $\frac{l}{k}$ merklich verschwindet, d. i. in Ketten, die nur aus einem einzigen großen oder einer geringen Anzahl groser Plattenpaare mit gutleitender Flüssigkeit bestehen, würden, abgesehen vom erkältenden Einfluß der Luft, ein dünner und ein dicker Draht in gleich starkes Glühen gerathen; vermöge des erkältenden Einflußes der Luft aber wird in solchen Ketten ein dünnerer Draht sogar schwächer glühen, als ein dickerer, oder es wird eine kürzere Länge desselben angewandt werden müssen, um mit dem dicken Drahte in gleich starkes Glühen zu gerathen. In der That hat man bei großplattigen Batterieen manchmal den Umstand beobachtet, daß von dickeren Drähten ein längeres Stück dadurch glühend gemacht wird als von dünneren **).

4) In säulenartig aus unter sich völlig gleichen Elementen zusammengesetzten Ketten steht die Länge des Drahtes, welche sie zu einem und demselben Grade des Glühens bringen, im einfachen Verhältnisse der Anzahl der Elemente, woraus sie gebildet sind, vorausgesetzt, daß jedesmal Draht aus einerlei Metall und von demselben Querschnitte zu den Versuchen genommen wird ***).

*) Wodurch der Leitungswiderstand auf die Hälfte sinkt.

**) Vergl. Singer's El. S. 255.

***) Dies Gesetz ergiebt sich folgendergestalt aus der Formel auf Seite 467. Wenn a die elektromotorische Kraft eines einzelnen Plattenpaares, m die Zahl der Plattenpaare, $\lambda$ den Leitungswiderstand eines einzelnen Plattenpaares, l die Länge des schließenden Drahtes, der durch diese Kette zur Intensität des Glühens G gebracht wird, bedeutet, so hat man $A = ma$, $L = m\lambda$, mithin

$$G = \frac{ma}{\left(m\lambda\omega + \frac{l}{k}\right)\chi}$$

Dies Gesetz ist mehrfach bestätigt worden.

5) Bei Ketten, in denen sich die Größe der erregenden Oberfläche (alle übrigen Umstände derselben als gleich vorausgesetzt) respectiv verhält wie:

$$1 : 2 : 4 : 8 \text{ u. s f.}$$

werden die Unterschiede der Drahtlängen, die durch sie in denselben Grad des Glühens gebracht werden, von einer Kette zur andern immer um die Hälfte kleiner, so daß, wenn man z. B. fände, daß eine Kette von der einfachen erregenden Oberfläche eine Länge von 2 Zoll in ein eben sichtbares Glühen versetzte, und eine Kette von der doppelten Oberfläche eine Länge gleichen Drahtes von 4 Zoll (wo mithin die Differenz = 2 ist), so würde eine Kette von der 4fachen Oberfläche eine Länge von 5 Zoll u. s. f. in ein solches Glühen versetzen.

Allgemein: wenn respectiv f, f′, f″, f‴..... die Flächengrößen der verschiedenen Ketten übrigens gleicher Construction sind, und l, l′, l″, l‴..... die Drahtlängen, die von denselben respectiv zu gleichen Graden des Glühens gebracht zu werden vermögen, so hat man*):

$$(l' - l) : (l'' - l) : (l''' - l) =$$

$$\left(1 - \frac{f}{f'}\right) : \left(1 - \frac{f}{f''}\right) : \left(1 - \frac{f}{f'''}\right)$$

Heißt nun l′ die Länge eines Drahtes von gleichem Querschnitt und gleicher Materie als der vorige, der durch m′ Plattenpaare von gleicher Beschaffenheit mit den vorigen zum Grade G erglühen soll, so hat man

$$G = \frac{m' a}{\left(m' \lambda \omega + \frac{l'}{k}\right) \chi}$$

mithin

$$G = \frac{m a}{\left(m \lambda \omega + \frac{l}{k}\right) \chi} = \frac{m' a}{\left(m' \lambda \omega + \frac{l'}{k}\right) \chi}$$

woraus man findet:

$$l : l' = m : m'.$$

*) Herleitung. In Ketten, in denen alles bis auf die Größe der erregenden Oberfläche gleich ist, seien f, f′, f″... die Größen der erregenden Oberfläche, l, l′, l″... die Drahtlängen, die sie respectiv zu gleichem Glühen bringen, so hat man, da der Leitungswiderstand eines Plattenpaares seiner erregenden Oberfläche umgekehrt proportional ist,

$$G = \frac{A}{\left(\frac{L\omega}{f} + \frac{l}{k}\right)\chi} = \frac{A}{\left(\frac{L\omega}{f'} + \frac{l'}{k}\right)\chi} = \frac{A}{\left(\frac{L\omega}{f''} + \frac{l''}{k}\right)\chi}$$

Diese Gleichung führt zu obigem Verhältniß.

## IX. Beziehung des Galvanismus zur Physiologie.

### Über den galvanischen Schlag.

Bekanntlich hat Ritter einen Unterschied in der Empfindung des Schlages am negativen und positiven Pole bemerken wollen (vergl. Biot's Lehrb. III. 476), der jedoch von Anderen nicht mit solcher Bestimmtheit wahrgenommen werden konnte. Marianini's Beobachtungen (der von Ritter's nichts zu wissen scheint) scheinen die von Ritter zu bestätigen. Er sagt nämlich (Ann. de Ch. et de Ph. XLIII. 322), daß, wenn man einen Finger bis zum zweiten Gliede in eine Tasse Wasser taucht, welche den positiven Pol eines Tassenapparates von 25 bis 30 Paaren enthält, während man den negativen Pol mit einem, in befeuchteter Hand gehaltenen, Metallcylinder berührt, so fühlt man eine Erschütterung, die sich nur bis zum zweiten Gliede erstreckt und mehr äußerlich und mit einer gewissen Empfindung, die selbst etwas Schmerzhaftes hat, begleitet ist, dagegen, wenn man die Richtung des Stromes umkehrt, die Erschütterung bis zum dritten Gliede gefühlt wird, tiefer eindringt und keine Empfindung an der Stelle, wo der Finger das Wasser berührt, zum Begleiter hat. Marianini versichert, diese Unterschiede mit dem Ringfinger der linken Hand so deutlich zu empfinden, daß keine Täuschung obwalten könne.

Marianini (Schweigg. LVI. 234) hat ferner die interessante Beobachtung gemacht, daß nicht allein durch Eintritt oder Austritt der ganzen Strömung der Kette in einen oder aus einem thierischen Organ eine Erschütterung darin hervorgebracht zu werden vermag, sondern auch dadurch, daß bloß ein Theil der hindurchgehenden Strömung daraus abgelenkt wird. Folgendes sind seine Versuche hierüber:

Er verband durch die unteren Extremitäten eines präparirten Frosches die Flüssigkeit zweier Tassen, welche die Pole eines sechspaarigen Becherapparates enthielten, und bewerkstelligte, als seine Zuckungen aufgehört hatten, anstatt die Kette zu öffnen, eine Nebenschließung zwischen den Polgefäßen durch Eintauchen der Enden eines kleinen Metallstreifens. Sofort zuckte der Frosch.

Bei Anwendung eines Tassenapparates von 40 Paaren ferner erhielt Marianini selbst kleine Schläge, wenn er, während zwei Finger derselben Hand die Polgefäße des Apparates verbanden, eine Nebenschließung zwischen diesen Gefäßen durch einen metallischen Bogen bewerkstelligte.

Die so entstehenden Wirkungen sind jedoch jedenfalls schwächer als diejenigen, welche man durch Öffnung der Kette erhält.

Ferner bemerkt Marianini, daß, wenn man zwei, mit befeuchteter Leinwand bedeckte, Metallcylinder, die mit den Polen eines galvanischen

Apparates aus 30 bis 40 Paaren von mäßiger Wirksamkeit communiciren, anfaßt, man bei jedesmaliger Schließung außer der Erschütterung ein eigenthümliches Gefühl in der Handfläche, welche mit dem positiven Pole communicirt, wahrnimmt; und daß besonders Personen, die für die Electricität sehr empfindlich sind, diese Empfindung haben, welche sie mit dem Kriebeln (fremissement) vergleichen, was man häufig an Händen oder Füßen empfindet, wenn die Nerven daselbst eine Zeit lang einen Druck erfahren haben.

Nach Hübenthal ist in dem Stadium der Cholera, wo der Kranke ohne Schmerzensäußerungen stumpf und gefühllos daliegt, derselbe selbst für die stärksten galvanischen, elektrischen und magnetischen Einwirkungen unempfänglich (Kleinert's Repert. V. 129).

Ein, schon früher von Ritter (s. Beitr. II. St. 2. S. 44; vergl. Biot's Lehrb. III. 478) angegebenes Mittel, sich in den Kreis einer starken galvanischen Batterie zu versetzen, um deren continuirliche Strömungswirkung zu erfahren, ohne daß man einen Schlag bei der Schließung oder Öffnung fühlt, ist neuerdings auch von Kemp*) empfohlen worden, welches darauf beruht, daß man anfangs nur ein oder wenige Plattenpaare der Säule oder des Trogapparates in die Kette nimmt; dann, während man sich noch in Schließung mit diesen befindet, ein anderes oder einige andere hinzunimmt, und nun erst die Schließung mit den vorigen aufhebt, u. s. f. Das Verfahren, dieses auf bequeme Weise bei einem Trogapparate zu bewirken, ist nach Kemp Folgendes:

Man faßt in die eine Hand eine metallische Kugel, an der ein Draht befestigt ist, und senkt diesen in die erste Zelle des Trogapparates. In die andere Hand faßt man eine andere Kugel, an der sich zwei von einander abstehende Drähte befinden, senkt den einen dieser Drähte, den wir a nennen wollen, in die zweite Zelle und läßt von jemand den andern Draht b in die dritte Zelle senken, darauf den Draht a aus der zweiten Zelle herausholen und in die vierte Zelle bringen, während sich b noch in der dritten befindet; dann b herausholen und in die fünfte Zelle bringen, u. s. f. — Anstatt bei jeder Fortbewegung des Drahtes ein Plattenpaar hinzuzufügen, können auch 2, 4, 6 Plattenpaare auf einmal eingeschoben werden, insofern von dieser Zahl kein deutlicher Schlag wahrgenommen wird. In dieser Weise erlangt man schneller die erforderliche Intensität der Wirkung. Um den Schlag bei der Öffnung der Kette zu vermeiden, geht man dann auf dieselbe Weise wieder zurück.

## Galvanische Froschschenkelversuche.

Marianini, Nobili, Lehot und Matteucci**) haben über galvanische Versuche mit Froschschenkeln einige Abhandlungen bekannt gemacht,

*) Edinb. med. and surg. Journ. (1829.) XXXII. 312; oder Schweigg. J. LVIII. 433; oder Fror. Notiz. XXVI. S. 303.

**) Marianini in Ann. de Ch. et de Phys. XL. 225; XLIII. 320. oder

die allerdings in Verhältniß zu ihrem Umfange sehr wenig, aber doch einige interessante, neue Thatsachen enthalten, übrigens viele Bestätigungen früherer Beobachtungen. Was uns darin bemerkenswerth scheint, wollen wir hier mittheilen.

1) Nennen wir directen Strom den, wo das positive Metall am Nerven, das negative am Muskel applicirt ist (oder was von gleichem Erfolg ist, wo das positive Metall näher, das negative entfernter vom Ursprunge des Nerven respectiv auf zwei Stellen desselben applicirt ist), umgekehrten Strom den, wo die umgekehrte Anordnung Statt findet; so findet nach Nobili (Schweigg. LX. 284)*), wenn eine schwache Kette (einfache Kette von Kupfer und Platin) auf ein Froschpräparat angewandt wird, Folgendes Statt:

a) die schwächste Contraction bewirkt der umgekehrte Strom beim Schließen;

b) eine minder schwache Contraction bewirkt der directe Strom beim Öffnen;

c) eine nicht sehr starke Contraction erregt der umgekehrte Strom beim Öffnen;

d) die stärkste Contraction erregt der directe Strom beim Schließen.

Ist das Froschpräparat noch sehr kräftig, so sind diese Gradverschiedenheiten in der Zuckung nicht wohl wahrzunehmen; in dem Maße aber, als die Lebenskraft desselben abnimmt, werden die Unterschiede deutlicher, so daß die schwächeren Contractionen unmerklich werden können, während die stärkeren es noch nicht sind, wonach Nobili 5 Zustände der Erregbarkeit unterscheidet, je nachdem 1) alle 4, 2) bloß die letzten 3, 3) bloß die letzten 2, 4) bloß die letzte, 5) gar keine Art der Zuckung mehr bemerklich ist.

Es ist jedoch wohl zu bemerken, daß dies Gesetz nur für den Fall schwächerer Ketten gültig ist. Im Fall man stärkere Ketten einwirken läßt, können, wie dies auch schon Ritter bemerkt hat, gerade die umgekehrten Erfolge eintreten. Ja es ist nach Nobili nicht einmal nöthig, um diese Umkehrung hervorzubringen, statt außerordentlich schwacher Ströme sehr energische anzuwenden; man braucht nach ihm meist nur statt eines Platin-Kupferbogens einen Kupfer-Zinkbogen anzuwenden, um die von dem umgekehrten Strome herrührende Zuckung zuletzt verschwinden zu sehen.

Schweigg. J. LVI. 227, 321; oder in Baumg. Zeitschr. V. 433; VIII. 90; desselben Bemerkungen zu Matteucci's Abhandl. Bibl. univ. 1831. Août. p. 371; — Nobili in Bibl. univ. 1830. Mai. 48; oder Ann. de Ch. et de Ph. XLIV. 61; oder Baumg. Zeitschr. VIII. 230; oder Schweigg. LX. 265. — Lehot in Ann. des sc. d'observ. III. 33 (enthält mehrere Anmerkungen in Bezug auf Marianini's Abhandlung ohne neue Thatsachen). — Matteucci in Bibl. univ. 1831. Févr. 113; oder Baumg. Zeitschr. IX. 486 (enthält ebenfalls fast nur theoretische Betrachtungen in Bezug auf Marianini's Versuche, ohne neue Thatsachen von Belang).

*) Vergl. auch Marianini in Schweigg. J. LVI. 238.

Auch verdient Bemerkung, daß die Versuche, aus denen diese Resultate gezogen sind, an Individuen angestellt wurden, die im Allgemeinen sehr kräftig, mehr klein als groß waren (im Herbste bei 10° bis 15° C.). Aber auch eine verschiedene Reizbarkeit der Individuen kann Abänderungen in die oben angegebenen Bestimmungen bringen, was auch schon früher von Ritter beobachtet worden ist. So fand der Verfasser, daß solche Subjecte, welche entweder in Folge langer Entziehung von Nahrungsmitteln, oder irgend anderer Entbehrungen und Leiden nur wenig Erregbarkeit noch besaßen, fast alle Ausnahmen zeigten von der obigen Regel. Bei solchen Individuen verschwand sehr oft diejenige Zuckung zuerst, welche vom directen Strome bei Öffnung des Kreises bemerkt wird; aber bei mehreren Individuen verschwand auch wohl gar eine der beiden stärkeren Zuckungen eher als eine oder die andere der schwächeren.

Freilich möchte man nach solchen Exceptionen fragen, was denn eigentlich als Regel übrig bleibt.

2) Damit eine Trennungszuckung eintrete, ist nicht erforderlich, daß eine Schließungszuckung vorangegangen sei. In der That kann man einen Frosch so allmälig der Wirkung des vollen Stromes aussetzen, daß die Schließungszuckung ganz beseitigt wird. Die Trennungszuckung wird darum nicht minder erfolgen. (Marianini in Schweigg. LVI. 235).

3) Die Trennungscontraction ist nach Marianini (Schweigg. LVI). stärker, wenn die vorangegangene Schließung etwas länger, als wenn sie kürzere Zeit dauerte, was besonders merklich ist, wenn man eine Säule mit starkem Leitungswiderstande anwendet. Er bildete einen Tassenapparat aus acht Paaren, von denen aber bloß zwei wirksam waren, indem die übrigen bloß aus kleinen Messingbogen bestanden. Der negative Pol wurde mit den Nerven, der positive mit den Muskeln eines Froschpräparates in Verbindung gesetzt, wo keine bemerkliche Schließungs-, wohl aber eine Trennungszuckung eintrat. Man bemerkte, daß diese am stärksten war, wenn man den Strom 8 bis 10 Secunden wirken ließ, wo sie sich ungefähr dreimal stärker zeigte, als wenn die Kette nur einen Augenblick geschlossen blieb. Nobili (Schweigg. LX. 288) hat dieselbe Beobachtung gemacht.

4) Die schon früher von Ritter (dessen Beitr. II. St. 2. S. 83) gemachte Beobachtung, wonach bei abwechselnder Schließung und Öffnung der Kette durch Theile des Körpers die Trennungsschläge im Verhältniß zu den darauf folgenden Schließungsschlägen immer stärker und stärker werden, fand Marianini (Schweigg. LVI. 233) auch an Froschpräparaten bestätigt.

Er bewirkte bei einer Säule kurz auf einander folgende abwechselnde Öffnungen und Schließungen mittelst eines Froschpräparates, und beobachtete ungefähr 1 Stunde hindurch, daß in dem Maße, als die Schließungszuckungen schwächer wurden, die Trennungszuckungen an Stärke zunahmen. Doch bemerkt er, daß von 4 bis 5 diesem Versuch unterworfenen Fröschen

nur ein einziger, ein sehr dickes, lebhaftes, erregbares, lebenskräftiges Männchen, den erwähnten Erfolg mit rechter Deutlichkeit darbot.

5) Folgender Versuch Marianini's (Schweigg. LVI. 325) ist ebenfalls nur eine Bestätigung schon früher bekannter *).

Man präparire zwei Frösche auf die gewöhnliche Weise, man bringe die Gliedmaßen des einen mit dem negativen, die des andern mit dem positiven Pole einer Kette in Verbindung und lasse die beiden Körper (troncs) derselben in die Flüssigkeit eines und desselben Gefäßes tauchen. Bei jeder Schließung der Kette zuckt der erste Frosch, der andere nicht. Kehrt man die Lage des letztern um, indem man den Körper an die Stelle bringt, wo sich erst seine Gliedmaßen befanden, und umgekehrt, so zucken beide Frösche bei der Schließung und rühren sich nicht bei der Öffnung. Kehrt man endlich die zuletzt erwähnte Lage beider Frösche zugleich um, d. h. stehen die Gliedmaßen des ersten mit dem positiven Pole, der Körper des zweiten mit dem negativen Pole in Verbindung, während der Körper des erstern und die Gliedmaßen des letztern in dasselbe Gefäß tauchen, so zuckt keiner von beiden bei Schließung der Kette, beide dagegen bei Trennung derselben. — Diese Zuckungen sind übrigens, wenn man wenig Plattenpaare anwendet, immer bei Weitem schwächer, als wenn man mit einem einzigen Frosche operirt.

6) Marianini macht einen Unterschied zwischen idiopathischen und sympathischen Zuckungen, welche durch den Galvanismus hervorgerufen werden, und zwar sind nach ihm erstere solche, welche durch unmittelbare Wirkung auf die Muskeln entstehen, letztere solche, welche von der Wirkung auf die, den Muskelbewegungen vorstehenden, Nerven entstehen. (Schweigg. LVI. 329). Diese Unterscheidung gründet sich jedoch auf mangelhafte Versuche, indem Humboldt schon früher durch entscheidende Versuche (gereizte Muskel- und Nervenfaser I. 104) nachgewiesen hat, daß idiopathische Zuckungen in Marianini's Sinne gar nicht Statt finden. So z. B. giebt nach Humboldt ein Muskel, aus dem der Nerve möglichst sorgsam herauspräparirt ist, keine Zuckungen mehr durch Galvanismus. Nobili (Schweigg. LX. 291) läugnet ebenfalls das Vorhandensein idiopathischer Zuckungen. Seine in diesem Bezuge angeführten Versuche haben indeß mindere Beweiskraft als Humboldt's Versuche.

7) Bei einem sehr empfindlichen Froschpräparate entsteht, wie schon durch Galvani bekannt ist, eine Zuckung unabhängig von allem Contact heterogener Metalle, wenn man Muskel und Nerv des Präparates durch einen homogenen, feuchten oder metallischen, Bogen schließt, und zwar geht der Strom nach Nobili (innerhalb des Präparates) von den Füßen zum Rückenmark, durchläuft mithin das Präparat in der der Nervenverzweigung entgegengesetzten Richtung. Nobili (Schweigg. LX. 294) nennt die hierbei Statt findende Strömung Strom des Frosches. Die Zu-

*) Biot III. 499.

ckung findet gewöhnlich bei der Schließung Statt, doch zeigen Individuen von sehr großer Lebenskraft die Zuckung auch bei der Öffnung der Kette, sehr wenige bloß in der letzten Epoche. Man erhält diese Zuckungen im Allgemeinen nur wenige Minuten lang, doch dauern sie bei einigen Individuen eine Viertelstunde und selbst länger. Jedenfalls verliert nach Nobili das Thier seine Erregbarkeit gänzlich, bevor es noch seine elektromotorische einbüßt, wie sich durch Galvanometer oder auch durch frische Froschschenkel nachweisen läßt, welche in den Kreis schon lange unthätig gewordener Froschschenkel gebracht, das Fortbestehen des ursprünglichen Stromes noch deutlich anzeigen; was ein Beweis mehr sein möchte, daß die elektrische Strömung, welche durch die eigenen Organe des Frosches hierbei entsteht, keine von seiner Lebenskraft abhängige Wirkung ist.

Nobili ist allerdings der Ansicht Volta's nicht geneigt, daß Nerv und Muskel hierbei als zwei heterogene Körper wirken, sondern er glaubt vielmehr hierbei eine thermoelektrische Wirkung im Spiele. Der Muskel und der Nerv besitzen nämlich beide die Neigung nach und nach auszutrocknen, und dieser Verlust an Feuchtigkeit soll genügen, einen Temperaturunterschied zwischen beiden zu unterhalten *). Es braucht wohl nicht erinnert zu werden, wie unwahrscheinlich diese Ansicht ist. Indeß Nobili sieht überall thermoelektrische Wirkungen.

8) Unter den nach Galvani's Art präparirten Fröschen stößt man bisweilen auf einige, deren Gliedmaßen dermaßen steif werden, daß sie sich nur mit Mühe biegen lassen, und, mit Gewalt gebogen, nachher schnell ihre ursprüngliche Steifigkeit wieder annehmen, mithin mit einer Art Starrkrampf behaftet sind. Nobili beobachtete in einigen Fällen (Schweigg. LX. 301), daß ein solcher Frosch unter dem Einfluße eines gewissen Stromes in diesem Zustande verharrte, während unter dem Einfluße des entgegengesetzten Stromes alle Gliedmaßen vollständig abgespannt wurden. Anderemale gelang ihm dieser Erfolg nicht, ohne daß er die Ursachen anzugeben weiß, worauf der Erfolg oder Nichterfolg beruht. Man kann übrigens nach Nobili einen künstlichen Tetanus bei einem Frosche dadurch erzeugen, daß man ihn in eine Kette bringt, und diese Schlag auf Schlag abwechselnd öffnet und wieder schließt.

9) Von einigen galvanischen Versuchen Marianini's und Müller's an Fröschen wird noch im nächsten Artikel die Rede sein.

## Galvanisch-physiologische und therapeutische Versuche.

Versuche von Müller**). Der nach Bell's, Magendie's und Schöps's bisherigen Versuchen immer noch nicht für völlig erwiesen zu erachtende Umstand, daß die vorderen Wurzeln der Rückenmarksnerven

*) Weil nämlich der eine Körper in der einen Zeit mehr verdampfen läßt, als der andere, so soll sich ersterer mehr abkühlen.

**) Froriep's Notiz. Nr. 8. und 9. des XXX. Bandes.

der Bewegung, die hinteren der Empfindung dienen, kann jetzt durch neuere Versuche vom Professor Müller zu Bonn an Fröschen, wo diese Versuche viel weniger Schwierigkeit darbieten, als außer Zweifel gesetzt angesehen werden. Außer den Versuchen mit mechanischer Reizung der vorderen und hinteren Wurzelenden sprechen auch hierfür Versuche, die mit galvanischer Reizung dieser Enden angestellt wurden. In Verbindung mit diesen Versuchen stellte Müller zugleich andere an Kaninchen an, welche den ebenfalls schon früher aufgestellten Satz bestätigen, daß die einzelnen Hirnnerven verschiedene Functionen in Bezug auf Bewegung und Empfindung besitzen. Die constanten Resultate dieser Versuche waren folgende:

Die zu prüfenden Nervenwurzeln bei den Fröschen waren jedesmal dicht am Rückenmark abgeschnitten *), so daß sie nur mit ihren Rumpfnerven in Verbindung standen. Zur Isolation wurde immer eine Glasplatte untergeschoben und der ganze (noch lebende) Frosch auf ein Stück Glas gelegt.

1) Wenn man die hinteren Wurzeln der Rückenmarksnerven mechanisch reizt oder allein mit beiden Polen eines einfachen Plattenpaares in Verbindung bringt, so entsteht niemals die geringste Spur einer Zuckung **).

2) Wenn man dagegen die hinteren Wurzeln mit dem einen Pole, einen Muskel der unteren Extremitäten mit dem andern Pole armirt, und also einen galvanischen Strom von der Wurzel bis zu dem Muskel leitet, so entstehen Zuckungen, und zwar bloß in den innerhalb des galvanischen Wirkungskreises gelegenen Muskeln.

3) Die vorderen Wurzeln bewirken, sowohl unmittelbar mit beiden Polen vereinigt, als mittelbar, indem der andere Pol auf die Muskeln wirkt, Zuckungen in allen Muskeln der Extremität, nicht bloß in dem galvanischen Wirkungskreise, sondern bis zu den Zehen herab. Eben so bewirkt mechanische Reizung der vorderen Wurzeln die lebhaftesten Zuckungen.

4) Dasselbe erfolgt, wenn man die hinteren Wurzeln mit dem einen Pole, die vorderen Wurzeln mit dem andern Pole in Verbindung bringt.

5) Quetscht man einen Muskelnerven mit der Pincette, so wirken mechanischer und galvanischer Reiz über der gequetschten Stelle nicht mehr, wohl aber, wenn der mechanische und galvanische Reiz unter dieser und dem Muskel applicirt wird; desgleichen entstehen Zuckungen, wenn der eine Pol auf das Ende des gequetschten Nerven, der andere Pol auf den Muskel wirkt.

6) Schneidet man die Wurzeln der letzten Spinalnerven in einiger Entfernung vom Rückenmarke ab, so daß noch die Anfänge am Rückenmarke sitzen bleiben, so bewirken weder die vorderen, noch die hinteren

*) Ob hierbei die hinteren Wurzeln mit dem Rückenmark vereinigt blieben, wenn die vorderen abgeschnitten waren, und umgekehrt, erhellt nicht deutlich.

**) Das Abschneiden der hinteren Wurzeln vom Rückenmarke war oft ganz deutlich mit Schmerzensäußerungen am Vordertheile des Rumpfes verbunden.

Wurzeln, wenn sie allein armirt werden, in rückwärts gehender Richtung Zuckungen an den vorderen Theilen des Rumpfes, z. B. am Kopfe; dagegen entstehen Zuckungen, wenn die Wurzeln mit dem einen Pole, die entblößten vorderen Theile des Körpers mit dem andern Pole armirt werden.

7) Bei einem Frosche wurden alle Wurzeln der Nerven am größten Theile des Rückenmarkes von hinten bis in die Gegend der Arme dicht am Rückenmark abgelöst, so daß der hintere Theil des Rückenmarkes frei emporgehoben und ein Glastäfelchen untergeschoben werden konnte. Das Rückenmarksende, mit beiden Polen verbunden, erregte Zuckungen in allen Theilen, welche noch mit dem Rückenmark in Verbindung standen; verhielt sich also in dieser Hinsicht anders als die abgeschnittenen Nervenwurzeln.

Folgende Resultate an den Hirnnerven wurden bei Kaninchen erhalten.

8) Der nervus facialis erregt bei jeder Zerrung mit der Nadel und bei Reizung durch eine Kupfer- und Zinkplatte die lebhaftesten Zuckungen an der Schnauze und allen Gesichtsmuskeln, welche von dem gereizten Äste abhängig sind. Doch ist dieser Nerv nicht bloßer Bewegungsnerv, wie **Bell** annimmt, denn wenn man irgend einen Ast des nervus facialis bei einem Kaninchen durchschneidet, so entstehen nicht bloß Zuckungen in den abhängigen Muskeln, sondern die heftigsten Schmerzensäußerungen und ein klägliches Geschrei.

9) Der nervus infraorbitalis erregt, wenn man ihn auch noch so sehr mit einer Nadel an der Austrittsstelle reizt und zerrt, niemals eine Spur von Zuckung in den Muskeln der Schnauze, zu denen er doch, in Vereinigung mit den Ästen des facialis, viele Zweige giebt. Der Nerv wurde dicht an der Austrittsstelle durchgeschnitten, wobei das Thier ein höchst klägliches Geschrei und ungeheure Schmerzensäußerungen erhob. Das Ende des Nerven ward mit beiden Metallplatten in Verbindung gebracht, nachdem der Nerv auf eine Glasplatte aufgelegt worden. Es ward keine Spur von Zuckung in den entblößten Muskeln der Schnauze wahrgenommen. Wohl aber entstanden Zuckungen, als der nervus infraorbitalis mit der einen Platte, die Muskeln mit der andern Platte armirt wurden. Als man darauf auf das isolirte Ende des nervus infraorbitalis beide Pole einer galvanischen Säule wirken ließ, zeigten sich bei der Berührung an einigen Stellen des sehr breiten Nerven keine Zuckungen in den Muskeln der Schnauze, wohl aber bei der Berührung an andern Stellen des Nerven kleine Zuckungen, was daraus erklärlich scheint, daß sich Äste des facialis sogleich an den nervus infraorbitalis an der Austrittsstelle anschließen.

10) Der nervus hypoglossus bewirkt bei jeder Zerrung mit der Nadel und beim galvanischen Reize durch beide Pole sehr heftige Zuckungen in der Zunge bis in die Zungenspitze. — Der nervus lingualis bewirkt keine Spur einer Zuckung, wenn er mit der Nadel gezerrt wird, und selbst dann nicht, wenn die beiden Pole einer galvanischen Säule von 65 Plattenpaaren auf ihn wirken. Wenn man aber den einen Pol auf die Zunge, den

andern auf den nervus lingualis bringt, so entstehen Zuckungen. — Der nervus glossopharyngeus erregte, unmittelbar mit beiden Polen der Säule in Verbindung gebracht, kleine Zuckungen in dem Schlunde, nachdem das Thier schon todt war.

11) Als die beiden Pole der Säule von 65 Plattenpaaren auf den nervus splanchnicus applicirt wurden, entstanden keine Zuckungen am Darmcanale, sondern die schwachen peristaltischen Bewegungen verstärkten sich nur, und wurden wieder hervorgerufen, als sie zuletzt aufgehört hatten. Als man den einen Pol auf den Nerven, den andern auf irgend eine Stelle des Darmes applicirte, zog sich vorzugsweise die letztere Stelle, aber ganz außerordentlich eng, zusammen.

Bemerkt mag noch Folgendes werden:

Müller schließt aus dem Umstande, daß Zuckungen entstehen können, wenn ein Nervenende allein mit beiden Polen armirt wird, wo der galvanische Strom nicht durch den ganzen Nerven, sondern nur durch den zwischen den Polen befaßten Theil des Nervenendes hindurchgeht; daß das galvanische Fluidum nichts mit dem Nervenfluidum gemein habe, sondern bloß eben so wie ein mechanischer, auf das Vorderende angebrachter, Reiz wirke. Indeß scheint mir ein solcher Schluß nicht minder vorzeitig als der, daß die Zuckung eine Identität wirklich beweise. Die Entscheidung hierüber möchte wohl nicht ohne Zuziehung anderer Umstände zu geben sein.

Versuche von Lembert *). Lembert legte den hintern Theil des Rückenmarkes eines jungen Hundes zwischen der Cervical- und Dorsalgegend blos, zerschnitt alsdann das Rückenmark völlig in der Quere und beugte den Körper des Thieres nach vorwärts, so daß die Schnittflächen sichtbar wurden. Darauf ließ Lembert den Galvanismus auf das Rückenmark in folgender Art wirken. Die Leitungsdrähte einer galvanischen Säule von 12 Plattenpaaren wurden mittelst einer Seidenumhüllung isolirt, dann ihrer ganzen Länge nach an einander gelegt, so daß sie gewissermaßen nur einen einzigen Draht mit zwei Spitzen bildeten. Nach dieser Vorrichtung wurden diese Spitzen auf alle Puncte der Schnittoberflächen des Rückenmarkes gebracht. Auf der dem Gehirn zunächst gelegenen Fläche brachte die Berührung dieses doppelten Leiters unregelmäßige Bewegungen hervor, welche bloß von dem Schmerze herzurühren schienen, den das Thier empfand. Auf der untern Fläche brachte der Galvanismus je nach den Puncten, welche berührt wurden, veränderliche Erscheinungen hervor. Wurden die vorderen Bündel berührt, so krümmte sich der Schwanz des Thieres zwischen die Hinterbeine, und auch die hinteren Extremitäten wurden in einem sehr merklichen Grade gebeugt. Wurden die hinteren Bündel des Rückenmarkes berührt, so entstanden die entgegengesetzten Bewegungen, nämlich Streckung der Glieder und des Schwanzes, und auch der Rumpf wurde wieder gerade. Berührte Lembert irgend eines von

*) Froriep's Notiz. Nr. 19. des XXX. Bandes S. 292.

den Seitenbündeln des Rückenmarkes, so erfolgte eine Seitenbeugung der entsprechenden Seite. Die Wirkung des Galvanismus auf einen zwischen den Bündeln liegenden Punct hatte immer eine schräge Contraction des Rumpfes und Schwanzes zur Folge.

Versuche von Marianini. Folgenden Versuch führt Marianini *) als Beweis an, daß Bewegung entsteht, wenn das galvanische Fluidum die Nerven nach der Richtung ihrer Verzweigung, Empfindung, wenn es sie in entgegengesetzter Richtung durchläuft.

Ein weiblicher Frosch von mittelmäßiger Größe, ziemlich jung und kräftig, wurde mit dem Rücken auf einem hölzernen Lineale ausgestreckt und mittelst gesonderter Bänder die Hinterbeine und jedes Vorderbein daran festgebunden, so daß sein Athmen ganz ungehindert vor sich gehen konnte. Darauf ward er so präparirt, daß die hinteren Gliedmaßen am Körper bloß mittelst der beiden Cruralnerven hingen. Gleich nach der Operation ward der Frosch losgebunden, das rechte Vorderbein mit einem kleinen Bleistreifen (lame) gebunden, dessen anderes Ende mit dem Pole eines galvanischen Apparates in Verbindung stand; die beiden mit einander verbundenen Hinterbeine wurden mit einem Bleistreifen (bandelette) gebunden, der sich zum andern Pole begab. Die Vorderbeine und der Bauch des Frosches wurden auf eine Glasplatte gelegt und die Hinterbeine mit der Hand, die mit einer isolirenden Hülle bekleidet war, aufgehoben. Ungefähr 1 Minute, nachdem Alles angeordnet war, und als sich der Frosch vollkommen ruhig zeigte, wurde er der elektrischen Strömung unterworfen. Dabei beobachtete Marianini Folgendes.

Wenn der positive Pol mit den Vorderbeinen, der negative mit den Hinterbeinen in Verbindung stand, so bewegte der Frosch die letzteren im Augenblick der Schließung, stieß dagegen im Augenblick der Öffnung einen anhaltenden Schrei mit der ganzen Kraft seiner Lungen aus und erhob sich zugleich unter Verdrehungen auf die vorderen Gliedmaßen. Bei entgegengesetzter Anordnung der Pole ließ der Frosch bei Schließung der Kette einen mit Verdrehungen begleiteten Schrei hören, einen Schrei, den er zwei-, drei- und selbst viermal wiederholte, wenn man die Kette einige Zeit geschlossen ließ; bei Öffnung der Kette bewegten sich die Hinterbeine, das Thier hörte auf zu schreien und den Körper zu verdrehen.

Diesen Gegensatz der Wirkungen beobachtete Marianini erst bei einem einfachen Plattenpaare, dann bei Ketten aus drei und acht Paaren, im Ganzen zehn- bis zwölfmal.

Diese Versuche wurden von Marianini mit einigen Abänderungen noch mehrmals wiederholt, doch erhielt er nicht immer so bestimmte Resultate als bei diesen Versuchen, wiewohl sie im Allgemeinen damit übereinstimmten **).

*) Schweigg. LVI. 335 oder Ann. de Ch. et de Ph. XL. 253.

**) Vergl. auch Nobili in Schweigg. LX. 268.

Versuche Matteucci's *), bei welchen die Polardrähte einer Säule mit verschiedenen, durch Schnittwunden blosgelegten, Organen des Unterleibes eines lebendigen Kaninchens in Berührung gebracht wurden, und wo die um den positiven Draht sich ansammelnde Flüssigkeit sauer, die um den negativen sich sammelnde alkalisch reagirte, scheinen uns keiner besondern Erwähnung zu verdienen; da dieser Erfolg wohl sehr natürlich ist, und zu den Folgerungen über die Analogie thierischer Secretionen mit den chemischen Zersetzungen durch die Säule, die Matteucci daran knüpft, schwerlich berechtigen dürfte.

Versuche von David. Wie in Biot III. S. 553 bemerkt worden, haben Beclard und Beraudi beobachtet, daß eiserne Nadeln, die man in die Nerven lebender Thiere steckt, nach etwa ½ Stunde magnetisch wieder herausgezogen werden, welches dahin deutet, daß das den Nerven durchlaufende Fluidum elektrischer Natur ist. Beobachtungen, welche noch directer zu dieser Folgerung zu führen scheinen, hat Dr. David **) gemacht, indem er selbst Bewegungen der Magnetnadel durch Drähte, welche in die Nerven gesteckt wurden, hervorgebracht haben will; indeß erhellt schon aus der Beschreibung dieser Versuche selbst die Unzuverlässigkeit derselben, und durch Wiederholung derselben von Müller in Bonn (Fror. Not. 1831. Nr. 8. des XXX. Bandes S. 117) ist ihre Unrichtigkeit noch vollends außer Zweifel gesetzt worden, daher wir uns ihrer nähern Anführung überheben.

Elektricität des Zitterrochens ***). H. Davy hat durch wiederholte Versuche die Elektricität des Zitterrochens nicht nur zur Hervorbringung chemischer Wirkungen, sondern auch zur Ablenkung der Multiplicatornadel ganz unfähig gefunden. Unstreitig rührt dies daher, daß ein solcher Schlag jedesmal nur eine unbestimmt kleine Zeit dauert; dagegen zu jenen Wirkungen eine Continuität der Strömung erforderlich zu sein scheint.

Versuche von Pravaz. Nach Versuchen von Pravaz †) an Hunden, welche von anderen, tollen, Hunden gebissen worden, kann dadurch, daß man die Wunde galvanisirt, d. h. die entgegengesetzten Polardrähte einer Säule von 40 bis 50 Paaren nach und nach mit allen Puncten der Wunde in Berührung bringt (so daß die Säule jedesmal durch die Wunde geschlossen wird), die Hundswuth verhütet werden. In der That blieben bei wiederholten Beobachtungen an Hunden, die von demselben tollen Hunde

*) Ann. de Ch. et de Phys. 1830. Mars. pag. 256 oder Schweigg. Journ. LX. 305.

**) Thése inaugurale. Paris 1830.; ein Auszug in Froriep's Notiz. Nr. 7. des XXIX. Bandes.

***) Philos. transact. 1829. I.; oder Bibl. univ. XLI. 99; oder Schweigg. J. LVII. 17 oder Pogg. XVI. 311.

†) Revue médicale. Dec. 1830. oder Froriep's Notiz. Nr. 10. des XXI. Bandes S. 249.

gebissen worden, diejenigen befreit von der Wuth, welche diese Behandlung erfahren hatten, während die nicht so behandelten starben. Der Verfasser führt einen Fall an, wo der Galvanismus erst 24 Stunden nach dem Bisse, der durch einen unzweifelhaft tollen Hund erfolgt war, angewandt ward, und dessen ungeachtet das gebissene Thier nicht von der Wuth befallen wurde.

Bemerkung von Nobili. Nobili (Schweigg. LX. 303) macht darauf aufmerksam — und dies scheint mir großer Beachtung werth — daß es bei Behandlung gewisser Krankheiten durch Galvanismus, insbesondere bei Lähmungen, wohl zweckmäßig sein möchte, den Galvanismus nicht continuirlich durch das leidende Glied strömen zu lassen, sondern in schnell auf einander folgenden abwechselnden Öffnungen und Schließungen.

---

## X. Thermoelektricität geschlossener Ketten *).

### Apparat, um thermoelektrische Wirkungen nachzuweisen und zu messen.

Der gewöhnliche Multiplicator ist bekanntlich für einfache thermoelektrische Ströme von wenig Wirksamkeit **), weil diese Ströme durch Dünne des Leitungsdrahtes verhältnißmäßig zu stark geschwächt werden, so daß der Vortheil des wiederholten Vorbeigehens der Elektricität, den man durch die Anwendung des Multiplicators erlangt, mehr als compensirt werden kann durch die Länge und Dünne, die der Multiplicatordraht besitzen muß. Diese Betrachtung, welche in der allgemeinen Theorie der galvanischen Kette ihre vollständige Erklärung findet, hat mich veranlaßt, folgenden Apparat zu construiren ***), in welchem zwar der Vortheil des wiederholten Vorbeigehens der Elektricität vermißt wird, dagegen der ganze Vortheil in das ausnehmend gute Leitungsvermögen des Schließungsbogens gelegt ist. In der That ist dieser Apparat von vorzüglicher Wirksamkeit.

Der wesentliche Theil des Instrumentes besteht in nichts anderem, als einem, eine einzige Windung machenden, breiten und dicken Kupferstreifen, der in seiner Lage gegen die darin aufgehängte Doppelnadel (deren Länge von der Breite des Streifens etwas übertroffen wird) Fig. 60. im Durchschnitt und Fig. 61. in der Ansicht von oben verzeichnet ist. Sein oberes Blatt aa′bc geht in den Ansatz d, sein unteres in den Ansatz e aus; er-

*) Von der Erregung der Elektricität im Spannungszustande durch Wärme ist schon S. 343 die Rede gewesen.

**) Die Wirksamkeit nimmt indessen zu mit der Anzahl der Elemente, aus denen die thermoelektrische Kette zusammengesetzt ward.

***) Fechn. Maßbest. S. 1.

sterer ist etwas nach abwärts, letzterer etwas nach aufwärts gebogen, so daß ihre Enden, auf welchen sich messingene kleine Gefäße $\alpha$ und $\beta$ angeschraubt finden, in Ein Niveau kommen *). Auf dem obern Blatte des Kupferstreifens ist eine längliche Öffnung h h' zum Einbringen und Herausnehmen der innern Magnetnadel angebracht, desgleichen eine Kreiseintheilung verzeichnet. Die Glocke, welche das Ganze bedeckt, hat bei f einen Ausschnitt, um die Ansätze mit den Messinggefäßen, von denen in Fig. 60. wegen der Durchschnittszeichnung bloß eins sichtbar ist, hervortreten zu lassen. In diese Messinggefäße wird Quecksilber gegossen und das Gefäß dadurch in die Kette gebracht.

Dimensionen des Instrumentes in pariser Decimalmaß:

| | |
|---|---|
| Breite des Streifens | $22\frac{2}{3}$ Lin. |
| Dicke | 1 |
| Abstand des obern Blattes vom untern | $4\frac{2}{3}$ |
| Länge des Blattes von a bis a' oder von b bis b' | $34\frac{2}{3}$ |
| Länge eines Ansatzes | 20 |

Dies Instrument ist so empfindlich, daß, wenn man die beiden Quecksilbergefäße durch einen starken Bogen von Wismuth und Antimon verbindet, so reicht die bloße Anbringung der Handwärme an die Löthstelle des Bogens hin, die Nadel zu einer stehenden Ablenkung von 80° bis 85° zu bringen, also sie fast senkrecht auf den Strom zu stellen.

Man kann übrigens dies Instrument eben so wohl für hydroelektrische Ströme benutzen. Es ist aber sowohl hier, als (und zwar in noch viel höherm Maße) bei den thermoelektrischen Strömen folgender Umstand wesentlich. Man darf in den Verbindungskreis durchaus keine dünnen und langen Drähte bringen, denn eine Drahtlänge dieser Art, welche, wenn der gewöhnliche Multiplicator die Kette schließt, in dieselbe hinzugebracht, die Kraft kaum merklich ändert, kann diese, wenn sie bei Schließung durch den obigen Apparat in die Kette tritt, außerordentlich stark schwächen; ein Umstand, der sich leicht aus dem Ohmschen Grundgesetze über die Kette erklärt. Bloß, wenn nirgends ein vermöge seiner Dimensionen oder Materie schlecht leitender Körper sich in der Kette befindet, oder wenn der Widerstand, den ein solcher äußert, durch Verstärkung der elektromotorischen Kraft mittelst Vermehrung der Plattenpaare compensirt wird, findet obiges Instrument seine Anwendung. Die Verbindungsdrähte, mittelst deren man das Instrument in die Kette bringt, müssen daher möglichst kurz und dick sein.

Man kann dies Instrument auf doppelte Weise zu präcisen Messungen benutzen. Zuvörderst ergiebt sich leicht, wenn man die von Kämtz in Schweigg. Journ. XXXVIII. gegebenen Formeln auf den Fall dieses Instrumentes anwendet, wo die Entfernung der Nadel vom Strom als con-

*) In Fig. 60. hat es den Anschein, als wenn die Ansätze d und e zusammenliefen, allein in der That endigt sich bloß einer neben dem andern, wie in Fig. 61.

stant angesehen werden kann, wenigstens wenn die Breite des Streifens die Länge der Nadel hinreichend übertrifft, daß die Kraft des Stromes proportional ist der Tangente der Ablenkung der Doppelnadel, wenn ihre anfängliche Lage der Richtung des Stromes parallel war.

Man kann aber auch statt dessen die von mir S. 388 aus einander gesetzte Methode der Oscillationen anwenden.

### Abhängigkeit der thermoelektrischen Kraft von der Temperaturdifferenz.

Becquerel *) hat an einfachen Ketten von Eisen und Silber, Eisen und Kupfer, Kupfer und Platin, Silber und Zinn, Kupfer und Silber nachgewiesen, daß, wenn die Temperatur der einen Löthstelle auf 0° erhalten wird, während die andere zu verschiedenen Graden erwärmt wird, die thermoelektrische Kraft im genauen Verhältniß der Temperaturdifferenz wächst, wenn diese nicht einen gewissen Grad übersteigt. Die Gränze, bis zu welcher die Versuche hierüber angestellt wurden, und innerhalb deren die Proportionalität fortbestand, war bis 40° C. Bei hohen Temperaturdifferenzen jedoch findet, wie Becquerel bei einer spätern Versuchsreihe fand (und auch schon früher bekannt war), diese Proportionalität nicht mehr Statt; bei mehreren Metallen, wie Silber-Zink, Gold-Zink kann sogar bei höheren Temperaturdifferenzen wieder Abnahme und selbst Umkehrung der Kraft eintreten. Die erste der nachfolgenden Tabellen enthält die Belege für die bis 40° C. gehende Proportionalität der Intensität mit der Temperaturdifferenz; die zweite für die Nichtproportionalität bei höheren Temperaturdifferenzen.

Das bei den Versuchen angewandte Verfahren war dieses: Ein Draht z. B. von Platin und ein anderer von Eisen wurden mit einem ihrer Enden zusammengelöthet, während ihre beiden anderen Enden mit dem kupfernen Drahte des Galvanometers zusammengelöthet waren, für dessen Grade durch ein besonderes Verfahren (Pogg. VI. 345 oder Schweigg. J. LVII. 309) die entsprechenden Kräfte ausgemittelt waren. Nachdem die Löthstellen mit Ausnahme derjenigen, welche das Eisen mit dem Platin verband, in schmelzendes Eis gebracht worden, ward allmälig die Temperatur dieser letztern erhöht. Eben so ward bei Versuchen mit den anderen Metallen verfahren. Folgendes sind die erhaltenen Resultate:

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLI. 353 (Schweigg. Journ. LVII. 311) und XLVI. 346.

## Erste Tabelle.

| Metalle, welche die Kette bilden. | Temperatur C. der einen Löthstelle, während sich die andere auf Null befindet. | Ablenkungen der Magnetnadel. | Entsprechende Intensitäten des Stroms. | Berechnete Intensitäten. |
|---|---|---|---|---|
| Eisen u. Silber | 40° | 52° | 76 | 76 |
| | 30 | 45 | 56,76 | 57 |
| | 20 | 40 | 38 | 38 |
| | 10 | 27 | 18,80 | 19 |
| Eisen u. Kupfer | 40 | — | — | 80 |
| | 30 | 48 | 50,92 | 60 |
| | 20 | 41 | 40,70 | 40 |
| | 10 | 28 | 20 | 20 |
| Kupf. u. Platin | 40 | 41 | 40,40 | 40 |
| | 30 | 36 | 30,28 | 30 |
| | 20 | 28 | 20 | 20 |
| | 10 | 18 | 10 | 10 |
| Silber u. Zinn | 40 | — | — | — |
| | 30 | 48 | 59,92 | 60 |
| | 20 | 41 | 40,70 | 40 |
| | 10 | 28 | 20 | 20 |
| Kupf. u. Silber | 40 | 34 | 27,20 | 26,84 |
| | 30 | 28 | 20 | 20,13 |
| | 20 | 22 | 13,30 | 13,42 |
| | 10 | 13 | 6,60 | 6,71 |

## Zweite Tabelle *).

| Metalle, welche die Kette bilden. | Temperatur C. der einen Löthstelle, während sich die andere auf Null befindet. | Ablenkungen der Magnetnadel. | Entsprechende Intensitäten des Stroms. |
|---|---|---|---|
| + Eisen — Kupfer | 50 | 10 | 72,50 |
| | 100 | 20 | 120 |
| | 150 | 25 | 145 |
| | 200 | 27,50 | 158 |
| | 250 | 28,50 | 163,50 |
| | 300 | 29 | 166,20 |

*) Bloß für das Eisen-Kupferpaar sind die den Ablenkungen entsprechenden Intensitäten beigefügt. Unstreitig waren die Ablenkungen mit einem andern Multiplicator gewonnen, als die in voriger Tabelle.

| Metalle, welche die Kette bilden. | | Temperatur C. der einen Löthstelle, während sich die andere auf Null befindet. | Ablenkungen der Magnetnadel. | Entsprechende Intensitäten des Stroms. |
|---|---|---|---|---|
| + Silber | − Zink | 0 | 0 | |
| | | 20 | 2 | |
| | | 39 | 4 | |
| | | 58 | 6 | |
| | | 80 | 8 | |
| | | 120 | 10 | |
| | | 160 | 8 | |
| | | 187 | 6 | |
| | | 207 | 4 | |
| | | 215 | 2 | |
| | | 225 | 0 | |
| + Zink | − Silber | 225 | 0 | |
| | | 236 | 2 | |
| | | 247 | 4 | |
| | | 258 | 6 | |
| | | 262 | 8 | |
| | | 270 | 10 | |
| | | 281 | 12 | |
| | | 300 | 14 | |
| | | 290 | 12 | |
| | | 282 | 10 | |
| | | — | 8 | |
| | | 265 | 6 | |
| | | 258 | 4 | |
| | | 250 | 2 | |
| | | 240 | 0 | |
| − Gold | + Zink | Bei 70° C. beträgt die Ablenkung ungefähr 2°, nimmt aber bei steigender Temperatur ab und ist bei 150° null; dann fängt sie nach entgegengesetzter Richtung wieder an | | |
| + Gold | − Zink | 150 | 0 | |
| | | 180 | 2 | |
| | | 195 | 4 | |
| | | 210 | 6 | |
| | | 220 | 8 | |
| | | 240 | 10 | |
| | | 255 | 12 | |
| | | 275 | 14 | |

### Gesetz der galvanischen Spannungsreihe, auch für thermoelektrische Ketten nachgewiesen *).

Das Gesetz, daß z. B. der elektromotorische Abstand zwischen Eisen und Kupfer gleich ist der Summe der Abstände zwischen Eisen und Platin und Platin und Kupfer, oder allgemeiner, daß der Abstand zweier in der galvanischen Spannungsreihe aus einander liegender Metalle gleich ist der Summe der successiven Abstände aller Zwischenmetalle unter einander und von den äußersten Metallen, ist von Becquerel auch für thermoelektrische Ketten bei einer Temperaturdifferenz von 20° (so daß die eine Löthstelle sich auf Null befand) nachgewiesen worden. Man kann dies durch Vergleichung der Werthe schließen, welche in folgender Tabelle enthalten sind.

### Relative Intensitäten des thermoelektrischen Stromes für verschiedene Metalle, bei einer Temperaturdifferenz von 20° — 0° C.

| | |
|---|---|
| Eisen=Zinn . . . . . . . . | 31,24 |
| Kupfer=Platin . . . . . . . | 8,55 |
| Eisen=Kupfer . . . . . . . | 27,96 |
| Silber=Kupfer . . . . . . . | 2 |
| Eisen=Silber . . . . . . . | 26,20 |
| Eisen=Platin . . . . . . . | 36,07 |
| Kupfer=Zinn . . . . . . . | 3,50 |
| Zink=Kupfer . . . . . . . . | 1 |
| Silber=Gold . . . . . . . . | 0,50 |

Die Messung war, um die Differenzen zu vermeiden, die von dem verschiedenen Leitungsvermögen der dem Versuch unterworfenen Metalle herrühren konnten, so unternommen, daß eine einzige thermoelektrische Kette aus allen Metallen, die mit einander verglichen wurden, gemacht, und jedesmal alle Löthstellen, mit Ausnahme einer einzigen, auf Null Grad erhalten wurden. Da die Kette stets dieselbe blieb, so blieb sich solchergestalt auch das Leitungsvermögen stets gleich und die Resultate wurden unter einander vergleichbar.

### Thermoelektrische Wirkungen, am Condensator nachgewiesen.

Becquerel **) führt folgende Versuche an, die mir zum Theil allerdings in keiner sonderlichen Form, um viel daraus schließen zu können, angestellt zu sein scheinen. Man bringt einen Platindraht in eine Glasröhre, die an der Lampe an einem ihrer Enden zugeschmolzen ist, und setzt das freie Ende dieses Drahtes mit einer der Platten eines Volta'schen Condensators in Verbindung, unter Vermeidung der Berührung heterogener Metalle (also wohl unter Zwischenwirkung eines feuchten Körpers); dann er=

*) Mém. de l'Acad. des sc. X. 1831. 237 oder Schweigg. J. LVII. 313.
**) Schweigg. J. LVII. 304 und Ann. de Ch. et de Ph. XLVI.

hitzt man mittelst einer Alkohollampe oder einer andern Wärmequelle den Theil der Röhre, welcher verschlossen ist, bis zum Rothglühen. Man erhält in der Regel kein elektrisches Zeichen, welches von der Temperaturerhöhung abhängig wäre*). Wickelt man dagegen um das Ende der Röhre, welches verschlossen ist, einen Platindraht, dessen eines Ende mit dem Boden communicirt, und erhitzt dies Röhrenende stark, so nimmt der Platindraht, der sich im Innern der Röhre befindet, einen ziemlich starken überschuß von positiver Elektricität an. Durch besondere Versuche mittelst des Rousseau'schen Diagometers überzeugte sich Becquerel, daß das bis 90° oder 80° C. oder selbst darunter erhitzte Glas zum Leiter der Elektricität, selbst für sehr schwache Spannungen, wird.

Man bringe das eine Ende eines Platindrahtes (oder Silber= oder Golddrahtes, unter Vermeidung des Contacts)**) an die obere Platte eines vortrefflichen Bohnenbergerschen Goldblattelektrometers, bringe das andere Ende desselben, welches spiralförmig gerollt ist, mittelst einer Alkohollampe zum Glühen, ziehe diese sofort zurück und berühre nun die Spirale mit einem Streifchen feuchten Papieres, während man zugleich die untere Platte des Condensators mit dem Erdboden in Berührung setzt. Der Ausschlag des Elektrometers bei Abheben der Condensatorplatte wird anzeigen, daß der Platindraht negativ, das feuchte Papier positiv elektrisch worden ist. Dasselbe wird auch der Fall sein, wenn man den Versuch umkehrt, indem man den Platindraht an dem der Spirale entgegengesetzten Ende zwischen den Fingern faßt und die Spirale, sobald sie rothglühend geworden ist, mit einem Streifen feuchten Papiers***) in Verbindung setzt.

Man nehme eine 12 bis 15 Millimeter lange Glasröhre, schmelze an eines ihrer Enden einen Platindraht von $\frac{1}{2}$ Millimeter Dicke, befestige an das andere Ende einen sehr dünnen Draht von demselben Metall, bringe darauf den dickern beider Drähte mit einer der Condensatorplatten in Verbindung, unter Vermeidung metallischen Contacts zwischen ihnen, halte das freie Ende des andern Drahtes zwischen den Fingern und erhitze das Ende der kleinen Röhre, an welcher letzterer Draht befestigt ist, zum Glühen, oder auch nicht so stark. Durch die Hitze wird das Glas leitend und die Temperaturverschiedenheit im System bringt eine Elektricitätsentwickelung hervor, vermöge deren der Condensator, wie es scheint †), positive Elektricität erhält.

Es sei AB (Fig. 62.) eine mit Alkohol gefüllte kupferne Lampe, cc eine Tubulatur, dd ein Pfropf, durch welchen eine mit Gummilack überfir-

*) Dies ist nicht anders zu erwarten, da ein einfacher isolirter Elektromotor überhaupt keine merkliche Elektricität am Condensator zu erkennen giebt, wenn man nicht die condensirte Elektricität seiner Berührungsflächen durch Trennung derselben ins Spiel bringt.

**) d. h. wahrscheinlich mit Zuziehung eines feuchten Zwischenblättchens.

***) Das, wie es scheint, mit dem Condensator communicirt.

†) Ich finde nämlich Becquerel's Darstellung hier nicht recht deutlich.

nißte Glasröhre EF hindurchgeht. Durch die Glasröhre geht ein Baumwollendocht hindurch, dessen eines Ende in den Alkohol reicht, während an das andere Ende E eine Spirale von Platindraht g gefügt ist, welche in allen ihren Theilen glühend bleibt, wenn man ihre Temperatur hinreichend erhöhet hat. Man setze diesen Apparat auf die obere Platte eines condensirenden Elektroskops, dessen untere Platte mit dem Erdboden in Verbindung steht, und berühre die Spirale mit einem gewöhnlichen Platindrahte. Es wird positive Elektricität in die obere Condensatorplatte übergehen. Berührt man dagegen die Spirale mit einem Streifen feuchten Papieres, so geht negative Elektricität in die obere Condensatorplatte über.

## Verschiedene Umstände in Bezug auf thermoelektrische Ketten.

Nach Becquerel *), wenn man in einer thermoelektrisch zusammengesetzten Kette, wie sie in Fig. 63. verzeichnet ist, erst die Löthstelle A z. B. auf 50° C. erwärmt, während man alle anderen Löthstellen auf Null erhält, so ist die Intensität des Stroms ganz dieselbe, als wenn man die zwei Löthstellen B und C, oder die zwei Löthstellen D und E auf 50° C. erwärmt, während man die übrigen Löthstellen auf Null erhält, so daß es also gleichgültig ist, ob die Temperaturerhöhung an der directen Verbindungsstelle zweier Metalle oder an ihren Verbindungsstellen mit einem Zwischenmetalle angebracht wird. Ferner hängen nach Becquerel die Richtung und Intensität des Stromes stets bloß von der Temperatur der Verbindungsstelle, nicht aber der daranliegenden Theile ab, so daß man die Erwärmung bald mehr auf die eine, bald mehr auf die andere Seite einer Löthstelle fallen lassen kann, ohne daß dadurch eine Änderung im Strome entsteht, wofern die Löthstelle selbst auf dieselbe Temperatur kommt. Der Strom einer einfachen thermoelektrischen Kette, z. B. von Kupfer und Eisen hat dieselbe Intensität, mag man die eine Löthstelle in eine Flüssigkeit tauchen, welche das eine Metall etwas anzugreifen vermag, wie eine schwache Kochsalzauflösung, oder in reines, von Luft und Wasser befreites, Olivenöl, wofern nur die Temperaturdifferenz in beiden Fällen die nämliche bleibt.

## Thermoelektrisches Differenzialthermometer.

Nobili **) hat auf die thermoelektrischen Erscheinungen folgende Einrichtung einer Art Differenzialthermometer gegründet, welches nach ihm selbst die Empfindlichkeit der Bréguet'schen Metallthermometer übertrifft.

Das Instrument besteht aus zwei Haupttheilen: 1) einem Galvanometer von Kupferdraht mit Doppelnadel, das von gewöhnlicher Einrichtung ist; 2) einer thermoelektrischen Büchse, die wir jetzt beschreiben wollen.

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 341.
**) Bibl. univ. XLIV. 225 oder Pogg. XX. 245 oder Schweigg. LX. 433.

Die Büchse SS (Fig. 64.) enthält eine thermoelektrische Säule, zusammengesetzt aus sechs Abwechselungen von Wismuth und Antimon. Fig. 65. zeigt diese Säule, in gerader Linie ausgebreitet; in der Wirklichkeit aber ist sie kreisförmig zusammengebogen, um in die Büchse SS gestellt werden zu können. Man sieht in der Figur nur die ungeraden Löthstellen 1, 3, 5 u. s. w., die geraden Löthstellen 2, 4, 6 u. s. w. sind durch die Büchse verdeckt und überdies mit einem Kitt umgeben. An die Enden A, B der Säule sind zwei kupferne Ansätze A′ B′ gelöthet, welche zur Büchse herausragen und zur Aufnahme von Drähten dienen, durch welche sie mit den Enden des Multiplicators in Verbindung gesetzt werden *).

Die Büchse ist so eingerichtet, daß man sie nach Belieben an das Galvanometer setzen kann. Man kann dann das Instrument z. B. unter die Glocke einer Luftpumpe bringen und so die Kälte messen, welche beim Auspumpen der Luft eintritt. Alle ungeraden Löthstellen 1, 3, 5 der Kette stehen in unmittelbarer Berührung mit der Luft der Glocke und erkälten sich beim ersten Hub der Stempel, während die unteren Löthstellen, wegen ihrer Bekleidung mit Kitt, den Eindruck der Kälte nicht so schnell erfahren.

Nach Nobili ist die Empfindlichkeit dieses Instrumentes (das sich jedoch zu Maßbestimmungen über die Wärme auf keine Weise eignen dürfte) 15 bis 20 Mal größer, als die der Bréguet'schen Thermometer. Eine Temperaturveränderung von 2° (C.?) entsprach schon einem Bogen von 30° bis 40° (bleibender Ablenkung?). Als z. B. eine und dieselbe Person einigemale auf die Feder des Bréguetschen Thermometers und auf die Büchse SS hauchte, schritt die Nadel des ersten Instrumentes um 10° bis 12° vor, während die des letztern einen Bogen von 150° und mehr durchlief.

In einem Nachtrage bemerkt Nobili, daß sich die Empfindlichkeit des angegebenen Instrumentes noch ausnehmend erhöhen lasse, so daß es selbst höchst kleine Differenzen stralender Wärme anzuzeigen vermöge. In dieser Hinsicht sei es zweckmäßig, die Löthstellen mit einer schwarzen Substanz, wie Kienruß, zu schwärzen, um die Wärmeabsorption zu verstärken. Man soll, wenn man einen so vorgerichteten Apparat in die Mitte des Zimmers stellt und die Vorderseite der Säule (die obere Seite der Büchse?) successiv gegen die vier Wände dreht, unzweideutige Anzeigen von Temperaturunterschieden erhalten, wie sie die örtliche Lage dieser Wände mit sich bringen muß.

Besonders aber rühmt der Verfasser folgende Einrichtung, die Melloni dem Instrumente gegeben. Vielleicht finden Andere die Beschreibung deutlicher, als ich sie gefunden, daher ich sie wörtlich hersetzen will.

„In der Absicht, das Instrument für die Wärmestralung wirksamer zu machen, verfertigte er eine neue Säule von 16 dünnen Elementen, die

*) Wie es scheint sind in diesen Ansätzen Gruben zum Aufnehmen von Quecksilber angebracht.

ganz bedeckt und geschwärzt waren, und gegen die oberen Löthstellen hin durch eine Art von durchlöchertem und mit Kitt überzogenen Holzdeckel gehalten wurden. Die Büchse ist von Metall mit doppeltem Boden. Ein konischer Reflector von Metall befindet sich unten. Es wird von einem Fuß getragen, und kann nach jeder beliebigen Richtung gedreht werden.

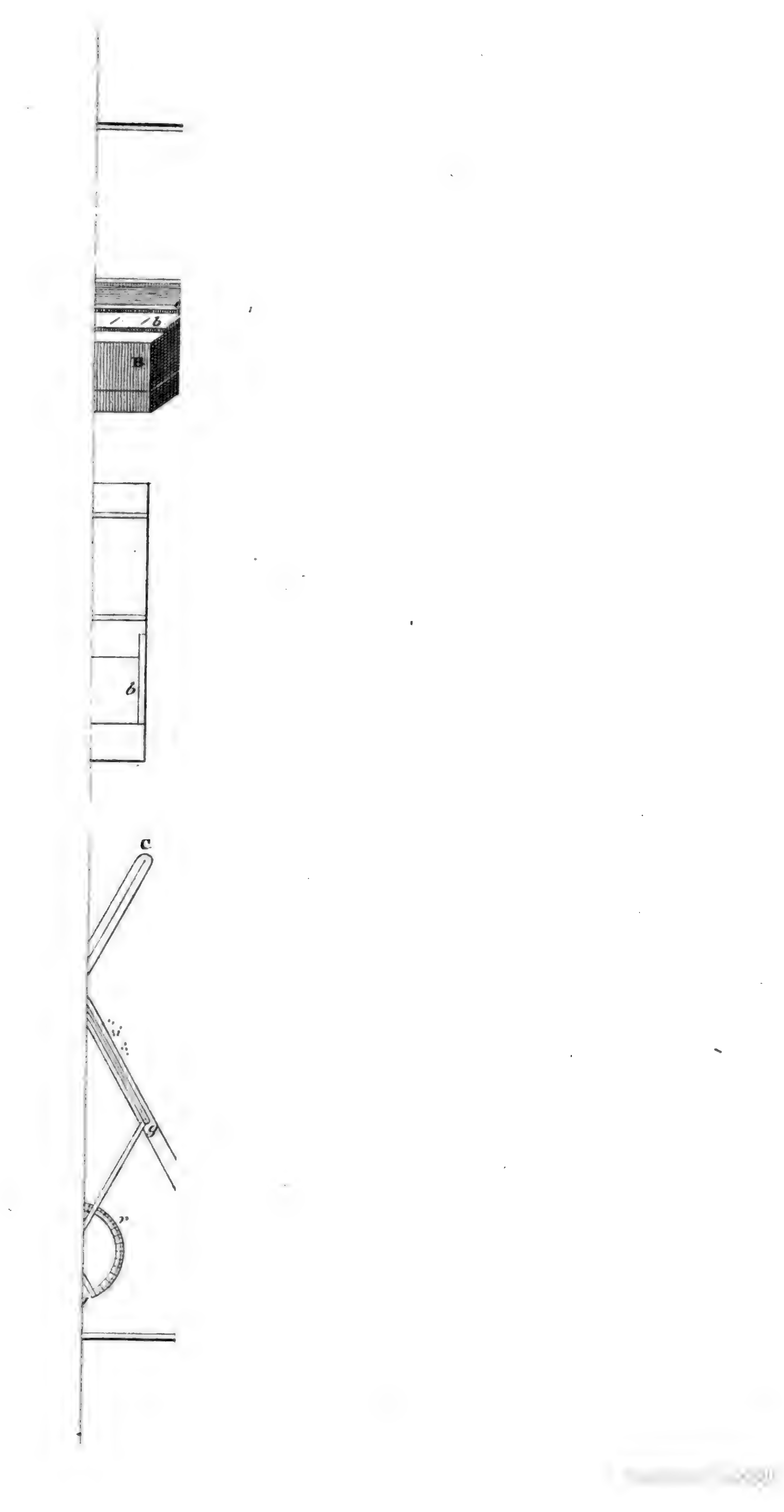
Diese Construction, in welcher man den geschickten Physiker erkennt, erfüllt ihren Zweck vollkommen. Bedeckt man den Reflector, der anfangs gegen die Decke eines Saales gerichtet war, so sieht man die Nadel des Galvanometers augenblicklich abweichen. Die Abweichung verändert sich mit der mehr oder weniger schiefen Richtung der Achse des Spiegels, und kommt beständig auf denselben Punct zurück, sobald die Achse wieder in dieselbe Richtung gebracht wird. Dies beweist aufs allerdeutlichste, daß die Wirkung in der That von der Strahlung der fernen Wände und nicht von der Berührung der umgebenden Luft herrührt. Schließt man alle Fenster des Saales bis auf eins, und dreht nun den Apparat bald gegen das offene Fenster, bald gegen die gegenüberstehende Mauer, so beschreibt die Magnetnadel Bogen von 30 bis 60 Grad, wie groß auch der Saal sein mag.

Ein großer Vortheil der metallischen Hülle besteht darin, daß es dem Beobachter gestattet ist, sich dem Instrumente zu nähern, ohne befürchten zu dürfen, daß seine eigene Wärme auf die Resultate der Versuche einwirke; denn wenn man darauf achtet, sich hinter den Boden des Instrumentes zu stellen, wenn die Achse des Spiegels horizontal liegt, so treffen die von der Person ausgehenden Wärmestralen die Wände der Büchse und werden daselbst reflectirt, ohne die Temperatur der inwendig befindlichen Elemente zu stören; dann kann man die Gegenstände, mit denen man experimentiren will, an lange Holzstäbe befestigen und sie der Vorderseite des Spiegels gegenüberstellen. Ein benetztes Stück Leinwand, welches durch die Verdampfung nur um einen Grad unter die Temperatur der Umgebung erkaltet ist, auf diese Weise in 5 bis 6 Fuß Entfernung vor dem Spiegel aufgehängt, übt auf die Nadel des Instrumentes einen sehr merkbaren Einfluß aus.

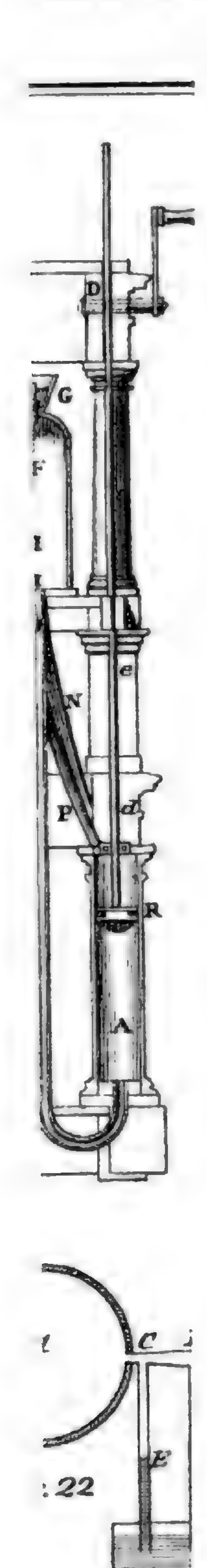
Ich habe diese Vervollkommnungen zur Erbauung einer zweiten Säule benutzt, welche ich künftig mit meinem ersten Thermo-Multiplicator vereinigen werde. Diese Säule besteht aus vierzig Elementen, und ist nach beiden Seiten hin vollkommen symmetrisch, folglich mit zwei Reflectoren versehen, welche man nach Belieben öffnen und verschließen kann. Ich halte viel auf diese Symmetrie, sowohl weil man nun ohne Unterschied beide Seiten der Säulen gebrauchen, als auch weil man Vergleiche zwischen den gleichzeitigen Temperaturen verschiedener Gegenstände anstellen kann. Um eine Idee von der erstaunlichen Empfindlichkeit dieses letztern Apparates zu geben, brauche ich nur zu sagen, daß er die Wärme des menschlichen Körpers in einer Entfernung von 18 bis 20 Fuß angiebt".

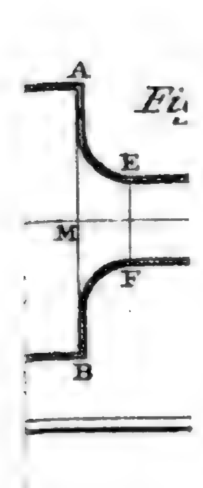
# Berichtigungen.

| Seite | Zeile | |
|---|---|---|
| 105 | 20 | v. o. st. des l. de |
| 207 | 18 | v. u. st. ist (unter einander zusammenhängenden) die l.: ist, die (unter einander zusammenhängenden) |
| 254 | 2 | v. o. man lasse weg: und der Elektrochemie. |
| 299 | 21 | v. o. st. Werthe l. Werthen |
| 300 | 21 | v. o. st. Ecke l. Ecke a. |

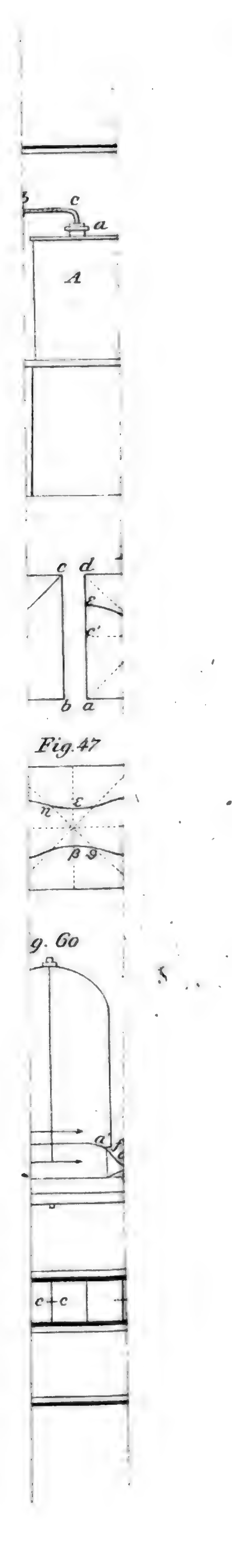

b
B
b
c
g
r

Digitized by Google

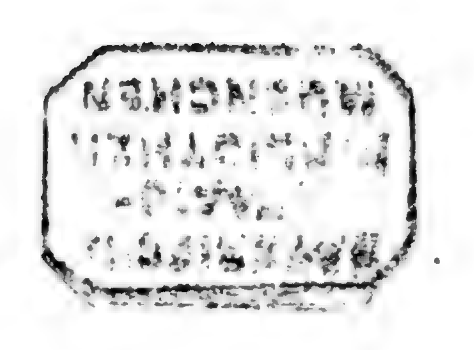

D
G
F
I
N
e
P
d
R
A
C
: 22
E


A
E
M
F
B

Digitized by Google

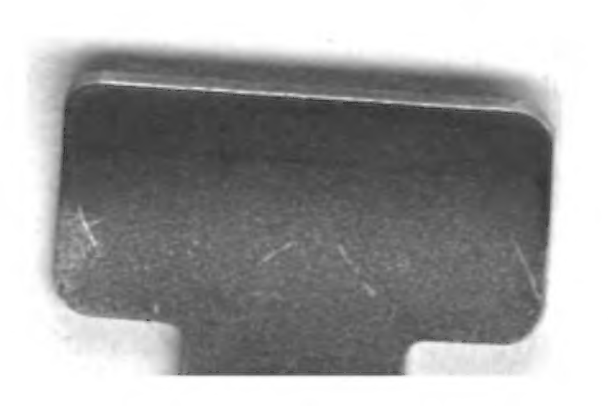


c
a
A
c
d
c'
b
a
Fig. 47
n
β
g. 60
a
c+c



Digitized by Google

Digitized by Google



H. HEINRICH
Buchbinderei
Rottenburg/L.
Digitized by Google

Digitized by Google